



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL141584

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *FILLER* BERBASIS
NIKL DAN *POST-WELD HEAT TREATMENT*
(PWHT) TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT
MEKANIK PADA HASIL LASAN MIG CAST IRON FCD
450 KOMPONEN AXLE HUB HD785-7**

FERDIYAN ALFATHAN YOGASARA
0251144000041

Dosen Pembimbing
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TL141584

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *FILLER* BERBASIS
NIKEL DAN *POST-WELD HEAT TREATMENT*
(PWHT) TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT
MEKANIK PADA HASIL LASAN MIG CAST IRON FCD
450 KOMPONEN AXLE HUB HD785-7**

FERDIYAN ALFATHAN YOGASARA
02511440000041

Dosen Pembimbing
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - TL141584

ANALYSIS ON EFFECT OF NICKEL BASE FILLER VARIATIONS AND POST-WELD HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES IN MIG WELDED OF CAST IRON FCD 450 AXLE HUB HD785-7 COMPONENTS

FERDIYAN ALFATHAN YOGASARA
02511440000041

Advisor
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

“This page left intentionally blank”

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *FILLER* BERBASIS
NIKEL DAN *POST-WELD HEAT TREATMENT* (PWHT)
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK
PADA HASIL LASAN MIG *CAST IRON FCD 450*
KOMPONEN AXLE HUB HD785-7**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

FERDIYAN ALFATHAN YOGASARA

0251144000041

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wikan Jatimurti, ST., M.Sc (Pembimbing 1)
2. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc (Pembimbing 2)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**Analisis Pengaruh Variasi *Filler* Berbasis Nikel dan
Post_Weld Heat Treatment (PWHT) Terhadap Struktur
Mikro dan Sifat Mekanik pada Hasil Lasan MIG Cast Iron
FCD 450 Komponen Axle Hub HD785-7**

Nama Mahasiswa : Ferdiyan Alfathan Yogasara
NRP : 02511440000041
Jurusan : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc
Co-Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

Abstrak

Salah satu komponen *axle hub* unit HD785-7 terbuat dari material *cast iron* FCD 450 mengalami *crack* pada bagian *studbold* dikarenakan faktor beban berlebih (*overload*) atau *lifetime*, diperlukan proses *repair* dengan metode pengelasan. *Cast iron* memiliki *weldability* yang rendah, maka dibutuhkan parameter yang tepat untuk mengelas komponen tersebut. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui pengaruh struktur mikro dan sifat mekanik hasil pengelasan menggunakan metode *Metal Inert Gas* (MIG) dengan variasi *filler* berbasis nikel dan PWHT. Parameter las yang digunakan antara lain arus 150 A, tegangan 26 V, komposisi gas argon 100%, preheat 250 °C, dan polaritas DCEP. Dengan variasi *filler* yaitu NiFe, NiFe-1, dan NiFe-2. Setelah itu dilakukan PWHT menggunakan *furnace* pada temperatur 595 °C dengan *holding time* 60 menit, lalu pendinginan *furnace* sampai 350 °C, setelah itu pendinginan udara sampai temperatur ruangan. Beberapa pengujian yang dilakukan yaitu uji visual, uji makroskopik, uji mikroskopik, uji kekerasan, dan uji tarik. Hasil pengujian menunjukkan pengelasan dengan *filler* NiFe dengan perlakuan *Post-Weld Heat Treatment* (PWHT) memiliki distribusi fasa yang teratur dan seragam dalam struktur mikronya, dan nilai kekerasan yang dimiliki paling tinggi dari *filler* lainnya, yaitu 229,86 HV pada daerah *weld metal* dan 230,74 HV pada

daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), serta memiliki nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) paling tinggi, yaitu 283,7 MPa.

Kata Kunci: ductile cast iron, MIG, NiFe, pengelasan, PWHT

Analysis on Effect of Nickel Base Filler Variations and Post-Weld Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties in MIG Welded of Cast Iron FCD 450 Axle Hub HD785-7 Components

Name : Ferdiyan Alfathan Yogasara
NRP : 02511440000041
Department : Teknik Material
Advisor : Wikan Jatimurti, ST., M.Sc
Co-Advisor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

Abstract

One of component in axle hub unit HD785-7 made from ductile cast iron FCD450 material have crack on the studbolt due to overload or lifetime. Therefore it is necessary to repair process need welding method. Cast iron have a poor weldability, so it takes a good parameter to weld the component. The purpose of this research is to know the effect of micro structure and mechanical properties of welding using Metal Inert Gas (MIG) method with nickel-base filler and PWHT. The welding parameters use 150 A, 26 V, 100% argon gas composition, preheat 250 ° C, and DCEP polarity. Methods were done by filler variations of NiFe, NiFe-1, and NiFe-2. After that, for the PWHT using furnace at temperature 595 ° C and holding time 60 minutes, then they were cooled in furnace to 350 ° C, last cool air to room temperature. Some of the tests that performed were visual test, microstructure test, hardness test, and tensile test. Some of the tests performed were visual test, microstructure test, hardness test, and tensile test. The results showed that welding by NiFe filler with PWHT treatment have a regular and uniform phase distribution in microstructure, and the highest hardness of other fillers is 229,86 HV in weld metal and 230,74 HV in HAZ area, and have a highest value of UTS, i.e. 283.7 MPa

Keyword: ductile cast iron, MIG, NiFe, PWHT, welding

“This page left intentionally blank”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Serta tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Variasi *Filler* Berbasis Nikel dan *Post_Weld Heat Treatment* (PWHT) Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik pada Hasil Lasan MIG Cast Iron FCD 450 Komponen Axle Hub HD785-7**”.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan adik-adik penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
3. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing satu Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
4. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc selaku dosen pembimbing dua Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.
6. Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
8. Bapak Muhammad Arriza Fajri, S.T., selaku pembimbing di PT. Komatsu Remanufacturing Asia yang selalu dengan sabar memberikan bimbingan kepada penulis selama mengerjakan dan menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material serta keluarga MT 16 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
10. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan temanteman sekalian.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Rear Axle</i>	5
2.2 <i>Cast Iron</i>	9
2.3 <i>Ductile Cast Iron</i>	11
2.4 Pengelasan	14
2.5 GMAW / MIG	15
2.6 Pengelasan Besi Tuang.....	17
2.7 Proses <i>Joining</i>	19
2.8 <i>Preheat</i>	21
2.9 PWHT.....	21
2.10 Gas Pelindung.....	23
2.11 Polaritas	23
2.12 <i>Filler Metal</i>	24
2.13 Cacat Las	25
2.14 Uji Tarik	28
2.15 Kekerasan	30
2.13 Metallografi.....	31
2.14 Penelitian Sebelumnya	32
BAB III METODOLOGI	

3.1	Diagram Alir Penelitian.....	39
3.2	Rancangan Penelitian	41
3.3	Metode Penelitian	41
3.4	Bahan Penelitian.....	42
3.5	Peralatan Penelitian	44
3.6	Tahap Penelitian	45
3.7	Jadwal Penelitian	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Pengujian.....	55
4.2	Pembahasan	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	87
5.2	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA		xxiii
LAMPIRAN		xxvii
UCAPAN TERIMA KASIH		xxxiii
BIODATA PENULIS		xxxv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	<i>Rear Axle Secara Umum (Manual Drive Trains and Axles, 2010).....</i>	<i>6</i>
Gambar 2. 2	<i>Half Floating Type</i>	<i>7</i>
Gambar 2. 3	<i>Full Floating Type</i>	<i>7</i>
Gambar 2. 4	<i>¾ Floating Type</i>	<i>8</i>
Gambar 2. 5	<i>Axle Housing</i>	<i>9</i>
Gambar 2. 6	<i>Diagram Fe-Fe₃C (ASM vol. 1, 1993)</i>	<i>10</i>
Gambar 2. 7	<i>Diagram Fasa Besi-Carbon untuk Besi Tuang Komersil, dan Juga Menunjukkan Skema Mikrostruktur Berbagai Besi Tuang (Callister, 2009)</i>	<i>11</i>
Gambar 2. 8	<i>Mikrostruktur Ductile Cast Iron (ASM vol. 1, 1993)</i>	<i>12</i>
Gambar 2. 9	<i>Mikrostruktur Ductile Cast Iron. A) C, sementit; L, ledeburit; F, ferit; dan P, perlit. Etsa Nital 4%. Perbesaran 500x. B) PM, plate martensit; FM, fine martensit; dan AF+A, acicular ferit+austenite. Etsa Sodium Metabisulfite 10%. Perbesaran 1000x. C) C, sementit; L, ledeburit; F, ferit; dan P, perlit. Etsa Nital 4%. Perbesaran 100x. D) C, sementit; L, ledeburit; F, ferit; dan P, perlit. Etsa Nital 4%. Perbesaran 500x (Radzikowska, 2004)</i>	<i>13</i>
Gambar 2. 10	<i>Kurva CCT Besi Tuang Nodular (Gumienny, 2015)</i>	<i>14</i>
Gambar 2. 11	<i>Skema dari Proses GMAW (ASM vol 6, 1993)..</i>	<i>16</i>
Gambar 2. 12	<i>Skema Representasi dari Zona Temperatur pada Tipe Besi Tuang (ASM vol 6, 1993).....</i>	<i>19</i>
Gambar 2. 13	<i>Rekomendasi Sambungan Penetrasi Komplit dengan Single Groove (AWS D11.2-89, 1989) ...</i>	<i>20</i>
Gambar 2. 14	<i>Pengaruh Polaritas Terhadap Lasan</i>	<i>24</i>
Gambar 2. 15	<i>Diagram Fasa Fe-Ni (Swartzendruber, 1991)</i>	<i>25</i>

Gambar 2. 16	Cacat <i>Porositas</i> (Sahlan, 2015).....	26
Gambar 2. 17	Cacat <i>Undercut</i> (Sahlan, 2015)	26
Gambar 2. 18	Cacat <i>Slag Inclusion</i> (Sahlan, 2015)	27
Gambar 2. 19	Cacat <i>Incomplete Fusion</i> (AWS vol. 2, 2004)	27
Gambar 2. 20	Cacat <i>Crack</i> pada <i>Weld Metal</i> (AWS vol. 2, 2004)	28
Gambar 2. 21	Standar Spesimen Uji Tarik dengan Bentuk Melingkar (Callister, 2009)	29
Gambar 2. 22	Skema Mesin Uji Tarik (Callister, 2009)	30
Gambar 2. 23	Teknik Pengujian Kekerasan (Callister, 2009) ...	31
Gambar 2. 24	Struktur Mikro Tanpa PWHT <i>Annealing</i> (Javier, 2016).....	32
Gambar 2. 25	Struktur Mikro dengan PWHT <i>Annealing</i> (Javier, 2016).....	33
Gambar 2. 26	Struktur Mikro Tanpa PWHT <i>Annealing</i> . (a) Pengelasan dengan Elektroda NiFe 57,2%, (b) Pengelasan dengan Elektroda Ni 97,6% (Pascual, 2009).....	36
Gambar 2. 27	Struktur Mikro dengan PWHT <i>Annealing</i> 850 °C. (a) Pengelasan dengan Elektroda NiFe 57,2%, (b) Pengelasan dengan Elektroda Ni 97,6% (Pascual, 2009).....	37
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3. 2	Komponen Axle Hub yang Mengalami Crack	42
Gambar 3. 3	Dimensi Spesimen.....	46
Gambar 3. 4	Rancangan Desain Sambungan Las	46
Gambar 3. 5	Mesin Las MIG	47
Gambar 3. 6	Skema Bentuk Spesimen Uji Tarik	48
Gambar 3. 7	Furnace.....	48
Gambar 3. 8	Bentuk Spesimen Uji Tarik Setelah di Machining dan PWHT	49
Gambar 3. 9	Mikroskop Optik Olympus BX51M-RF	51

Gambar 3. 10 Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A	52
Gambar 3. 11 Mesin Uji Tarik	53
Gambar 4. 1 Hasil Las Spesimen dengan <i>Filler</i> NiFe	55
Gambar 4. 2 Hasil Las Spesimen dengan <i>Filler</i> NiFe-1	56
Gambar 4. 3 Hasil Las Spesimen dengan <i>Filler</i> NiFe-2	56
Gambar 4. 4 Gambar Makroskopik Spesimen Non-PWHT dengan <i>Filler</i> NiFe	57
Gambar 4. 5 Gambar Makroskopik Spesimen Non-PWHT dengan <i>Filler</i> NiFe-1	58
Gambar 4. 6 Gambar Makroskopik Spesimen Non-PWHT dengan <i>Filler</i> NiFe-2	58
Gambar 4. 7 Gambar Makroskopik Spesimen PWHT dengan <i>Filler</i> NiFe	59
Gambar 4. 8 Gambar Makroskopik Spesimen PWHT dengan <i>Filler</i> NiFe-1	59
Gambar 4. 9 Gambar Makroskopik Spesimen PWHT dengan <i>Filler</i> NiFe-2	60
Gambar 4. 10 Struktur Mikro <i>Base Metal</i> Material <i>Original</i> . Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	61
Gambar 4. 11 Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	62
Gambar 4. 12 Struktur Mikro HAZ dengan <i>Filler</i> NiFe Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	62
Gambar 4. 13 Struktur Mikro <i>Base Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	63
Gambar 4. 14 Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe-1 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	64
Gambar 4. 15 Struktur Mikro HAZ dengan <i>Filler</i> NiFe-1 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	64
Gambar 4. 16 Struktur Mikro <i>Base Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe-1 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	65

Gambar 4. 17	Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe-2 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	66
Gambar 4. 18	Struktur Mikro HAZ dengan <i>Filler</i> NiFe-2 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	66
Gambar 4. 19	Struktur Mikro <i>Base Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe-2 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	67
Gambar 4. 20	Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	68
Gambar 4. 21	Struktur Mikro HAZ dengan <i>Filler</i> NiFe PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x.....	68
Gambar 4. 22	Struktur Mikro <i>Base Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	69
Gambar 4. 23	Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe-1 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	70
Gambar 4. 24	Struktur Mikro HAZ dengan <i>Filler</i> NiFe-1 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x.....	70
Gambar 4. 25	Struktur Mikro <i>Base Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe-1 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	71
Gambar 4. 26	Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe-2 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	72
Gambar 4. 27	Struktur Mikro HAZ dengan <i>Filler</i> NiFe-2 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x.....	72
Gambar 4. 28	Struktur Mikro <i>Base Metal</i> dengan <i>Filler</i> NiFe-2 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x	73
Gambar 4. 29	Diagram Rata-rata Nilai Kekerasan <i>Weld Metal</i> .	76
Gambar 4. 30	Diagram Rata-rata Nilai Kekerasan HAZ	76
Gambar 4. 31	Diagram Rata-rata Nilai Kekerasan <i>Base Metal</i> .	77
Gambar 4. 32	Grafik Distribusi Nilai Kekerasan Spesimen Non-PWHT	77
Gambar 4. 33	Grafik Distribusi Nilai Kekerasan Spesimen PWHT	78
Gambar 4. 34	Pola Patahan Hasil Pengujian Tarik Spesimen Non-PWHT. (A) NiFe, (B) NiFe-1, (C) NiFe-2 ...	79

Gambar 4. 35	Pola Patahan Hasil Pengujian Tarik Spesimen PWHT. (A) NiFe, (B) NiFe-1, (C) NiFe-2	79
Gambar 4. 36	Diagram Nilai UTS Hasil Lasan Spesimen Uji...	80

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Rekomendasi Metode PWHT	22
Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian	41
Tabel 3. 2 Komposisi Kimia Cast Iron FCD 450 (ASM Vol. 1)	43
Tabel 3. 3 Sifat Mekanik Cast Iron FCD 450 (ASTM A536)	43
Tabel 3. 4 Komposisi Kimia <i>Filler</i> NiFe (AWS A5.15)	43
Tabel 3. 5 Sifat Mekanik <i>Filler</i> NiFe (AWS A5.15)	43
Tabel 3. 6 Komposisi Kimia <i>Filler</i> NiFe-1 (JIS Z3252)	43
Tabel 3. 7 Sifat Mekanik <i>Filler</i> NiFe-1 (JIS Z3252)	44
Tabel 3. 8 Komposisi Kimia <i>Filler</i> NiFe-2 (JIS Z3252)	44
Tabel 3. 9 Sifat Mekanik <i>Filler</i> NiFe-2 (JIS Z3252)	44
Tabel 3. 10 Parameter Las	45
Tabel 3. 11 Jadwal Penelitian	53
Tabel 4. 1 Komparasi Fasa	73
Tabel 4. 2 Distribusi Kekerasan Material <i>Original</i>	74
Tabel 4. 3 Distribusi Kekerasan Masing-Masing Spesimen Uji	75
Tabel 4. 4 Nilai UTS Hasil Lasan Spesimen Uji	80

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang kaya akan bahan tambang. Beraneka bahan tambang tersedia untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri maupun luar negeri. Adapun jenis bahan tambang yang ada seperti batubara, nikel, emas, pasir besi, konsentrat tin, tembaga, dan lain sebagainya. Dari berbagai jenis bahan tambang di Indonesia, produksi batubara merupakan yang terbesar diantara yang lainnya, mencapai 400 juta ton per tahunnya. Sehingga dalam proses pertambangan, alat berat menjadi elemen penting dalam proses produksi.

Besarnya nilai produksi batubara diikuti dengan banyaknya kebutuhan alat berat yang digunakan dalam industri pertambangan. Dari berbagai macam jenis alat berat, unit *dump* truk dengan tipe HD785-7 menjadi paling populer dan banyak digunakan. Dalam kasus ini, tingginya jam kerja dari suatu unit tentunya menyebabkan berkurangnya umur pakai karena faktor beban yang berlebih (*overload*) atau *lifetime*. PT Komatsu Remanufacturing Asia sebagai perusahaan yang bergerak di bidang remanufaktur dan rekondisi mesin alat berat serta komponen dengan brand Komatsu, ikut mengambil bagian dalam proses industri pertambangan. Dengan tingginya penggantian *part* yang rusak akibat pemakaian, tentunya akan memberikan masalah tidak hanya pada aspek biaya namun juga ketersediaan *part* yang rendah, yang mengakibatkan terhambatnya kegiatan produksi. Maka dari itu perlu dilakukan *improvement* untuk dapat mengefisiensikan dan mengoptimalkan biaya produksi tanpa mengesampingkan kualitas produk.

Dalam dua tahun terakhir ini, PT. KRA menerima banyak kasus kerusakan pada komponen *axle hub* unit HD785-7 sebanyak 164 buah. Berdasarkan data historis kerusakan *part*, didapatkan bahwa kerusakan yang paling sering terjadi pada *axle hub* HD785-7 adalah *crack*, dengan frekuensi kejadian sebesar 87,2% atau



sebanyak 143 buah. Pada kasus ini, *crack* terjadi karena besarnya muatan yang dibawa oleh unit melewati jalan di area pertambangan yang tidak rata, yang menyebabkan tingginya konsentrasi tegangan pada bagian *axle hub*. Hal tersebut beresiko tinggi menyebabkan lepasnya roda, dampaknya bisa mengganggu aktivitas tambang yang nantinya dapat menurunkan efisiensi produksi. Sampai saat ini belum ada metode *repair* pada komponen *axle hub* sehingga harus dilakukan penggantian/*replacement part* baru. Penggantian *part* baru akan menambah biaya produksi. Oleh karena itu dilakukan penelitian dan pengembangan metode *repair* pada *axle hub*, dengan harapan dapat menekan biaya produksi untuk kedepannya. Adapun fokus penelitian ini untuk menemukan metode *repair* yang tepat dengan menggunakan metode pengelasan.

Pada penelitian komponen *axle hub* dari material *cast iron* FCD 450, proses pengelasan menggunakan *Metal Inert Gas* (MIG), menggunakan arus 150 A, dengan voltase 26 V, polaritas DCEP, komposisi gas yaitu argon 100% dan variasi *filler* yang digunakan NiFe, NiFe-1, NiFe-2. Sebelum di las dilakukan *preheat* sebesar 250 °C. Proses pengelasan juga dilakukan dengan menganalisa pengaruh *Post-Weld Heat Treatment* (PWHT) terhadap hasil akhir lasan, untuk dapat mencapai standard pabrikan.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam pengelasan *axle hub* HD785-7 ini diantara yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi *filler* terhadap struktur mikro, distribusi kekerasan, dan kekuatan tarik pada hasil pengelasan *axle hub* HD785-7 menggunakan metode pengelasan MIG?
2. Bagaimana pengaruh PWHT terhadap struktur mikro, distribusi kekerasan, dan kekuatan tarik hasil pengelasan *axle hub* HD785-7 menggunakan metode pengelasan MIG?

BAB I PENDAHULUAN



1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini berjalan dengan terarah serta memiliki kejelasan dalam analisa permasalahan, maka diperlukan beberapa batasan permasalahan, diantaranya yaitu:

1. Material yang digunakan adalah *cast iron* FCD 450 komponen *axle hub* HD785-7 yang dianggap homogen
2. Kecepatan pengelasan dianggap konstan
3. Sudut pengelasan dianggap konstan
4. Pengaruh lingkungan dianggap tidak ada
5. Skill operator dianggap ideal
6. Material *filler* metal yang digunakan sesuai dengan spesifikasi komposisi *filler* NiFe, NiFe-1, dan NiFe-2 komersial

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisa pengaruh variasi *filler* terhadap struktur mikro, distribusi kekerasan, dan kekuatan tarik pada hasil pengelasan *axle hub* HD785-7 menggunakan metode pengelasan MIG.
2. Menganalisa pengaruh PWHT terhadap struktur mikro, distribusi kekerasan, dan kekuatan tarik hasil pengelasan *axle hub* HD785-7 menggunakan metode pengelasan MIG.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi:

1. Mahasiswa dan peneliti lain
Sebagai dasar pengembangan ilmu dan tolok ukur penelitian selanjutnya dan dapat digunakan sebagai sumber bahan pembelajaran dan pengajaran.
2. Industri/ Perusahaan
Hasil penelitian ini dapat menjadi sebuah rekomendasi yang nantinya digunakan sebagai salah satu *problem solving* bagi perusahaan apabila ditemukan permasalahan yang sama.
3. Masyarakat



Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai salah satu wawasan untuk pengembangan ilmu pengetahuan mengenai salah satu metode *repairing* berbasis pengelasan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Rear Axle*

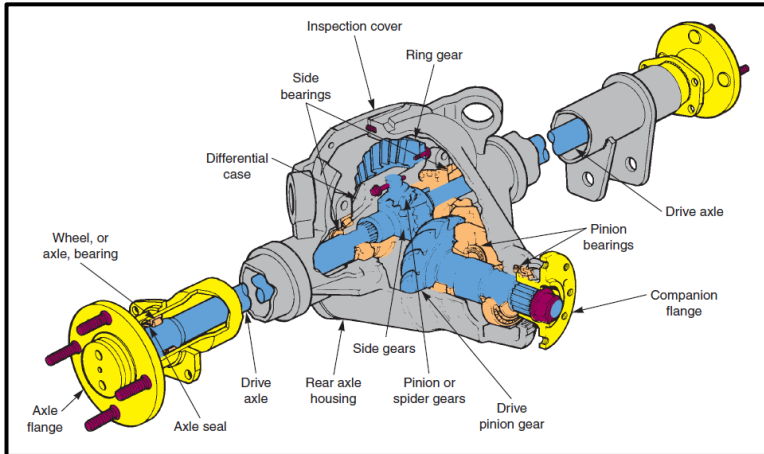
Merupakan roda gardan belakang yang paling umum digunakan yang memiliki konstruksi sederhana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. *Shaft* baling-baling dilengkapi dua sambungan umum dan juga sambungan geser. Pegas di bagian tengah, ke *rear axle*. Ujung depan pegas melekat pada rangka, sedangkan bagian belakang dibantu dengan sokongan. Dorongan penggerak ditransmisikan ke frame oleh bagian depan pegas.

Karena tarikan torsi, pegas terdefleksi. Pergerakan ke bawah dari *rear axle* berkurang. Variasi panjang baling-baling yang dapat mengimbangi dengan sambungan slip. Akibat gerakan pada *rear axle* dan defleksi pegas untuk mengubah posisi *final drive*, *shaft* pada posisi ini dapat mengakibatkan pembengkokan baling-baling dan dapat dihindari dengan menggunakan sambungan umum di bagian belakang poros baling-baling.

Rear axle termasuk juga bagian dari diferensial. *Rear axle* dikenakan beban berat dari mesin dan jalan. Mereka dibentuk dengan keras dan jarang gagal. Kegagalan pada *rear axle* yang paling umum adalah kegagalan pada poros *bearing*. Pada *rear axle*, tenaga mesin masuk ke *pinion gear* penggerak dari rakitan poros penggerak dan diferensial *pinion yoke/flange*. *Pinion gear* penggerak, yang menghubungkan dengan *ring gear*, menyebabkan *ring gear* berputar. Interaksi *ring* dan drive *pinion gears* mengubah aliran daya pada sudut 90. Perbedaan jumlah *gear* pada *ring gear* dan *pinion* menyebabkan rasio *gear* berkurang. Hal ini mengurangi kecepatan putar, sekaligus meningkatkan torsi. Kekuatan dari *ring gear* mengalir melalui diferensial *spider gears*, dan *side gears* ke as roda penggerak. As roda penggerak mentransfer daya dari diferensial ke roda belakang. Bantalan dan gardan belakang adalah komponen kunci dari rakitan poros belakang. Mereka dirancang untuk mendukung dan menyelaraskan bagian diferensial dan as roda penggerak. Bantalan dan gardan adalah bagian besar dan



berat. Ini untuk memastikan akan berdiri di bawah penggunaan yang berat. (*Manual Drive Trains and Axles*, 2010).

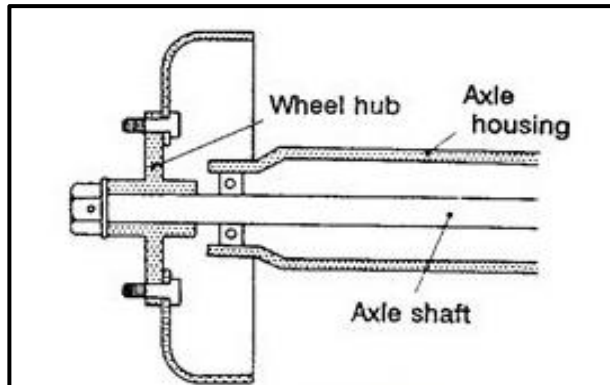


Gambar 2. 1 *Rear Axle Secara Umum* (*Manual Drive Trains and Axles*, 2010)

Berdasar metode pembebanan (support) pada *axle shaft*, terdiri dari:

- *Half Floating Type*

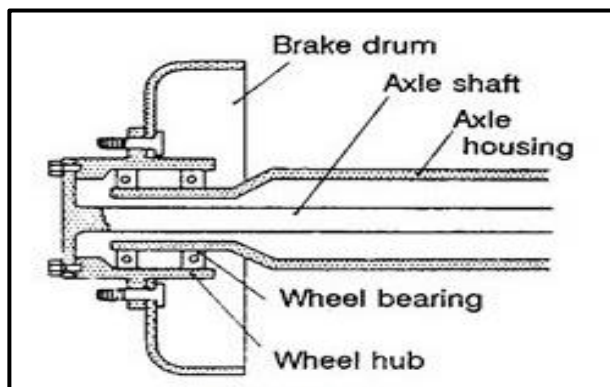
Roda dipasang langsung pada *axle shaft*. *Axle shaft* ini didukung oleh *axle housing* melalui *bearing*. *Axle shaft* dan *axle housing* menerima beban yang sama diteruskan ke roda. Bagaimanapun *axle shaft* akan menerima momen bending yang dihasilkan oleh gaya vertikal, melintang dan memanjang pada roda serta momen torsi yang dihasilkan oleh tenaga kendali. Tipe ini banyak digunakan untuk kendaraan kecil sebab strukturnya sederhana dan hanya untuk beban ringan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 *Half Floating Type*

- *Full Floating Type*

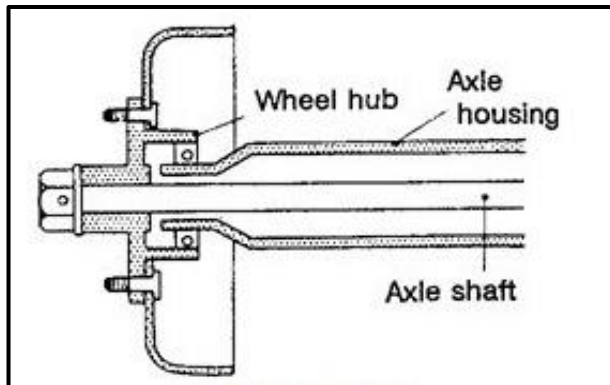
Masing-masing roda didukung oleh *axle housing* melalui dua *tapered roller bearing*. Momen bending dihasilkan oleh gaya vertikal, melintang dan memanjang dari roda semuanya diterima *axle housing* sedangkan *axle shaft* meneruskan tenaga kendali dan hanya menerima momen torsi yang dihasilkan oleh tenaga kendali tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Tipe ini dipakai untuk kendaraan sedang dan *heavy-duty*. *Axle shaft* dapat dilepas dan pasang dengan mudah daripada tipe lainnya.



Gambar 2. 3 *Full Floating Type*



▪ $\frac{3}{4}$ Floating Type



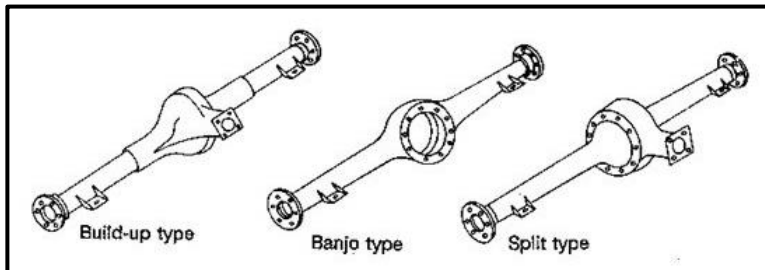
Gambar 2. 4 $\frac{3}{4}$ Floating Type

Struktur tipe ini antara tipe *half floating* dan *full floating* pada Gambar 2.4. Roda didukung oleh *axle housing* melalui sebuah bearing. *Axle shaft* sangat mudah menyalurkan kekuatan driving. Karena itu hampir $\frac{3}{4}$ momen bending dari beban vertikal dan melintang oleh roda akan diteruskan ke *axle housing*. *Axle shaft* menerima momen torsi dan momen bending $\frac{1}{4}$ dari beban melintang. Tipe ini jarang digunakan karena strukturnya kompleks.

Bentuk rear drive *axle* bervariasi tergantung dari jenis kendaraan. Perbedaan yang paling mencolok dari *axle* adalah *axle housing*nya. *Axle housing* berfungsi menutup dan melindungi *axle shaft*, mendukung berat kendaraan dan beban. Final gear terpasang dekat dengan bagian tengah *axle housing*. Berdasarkan bentuknya *axle housing* dapat diklasifikasikan menjadi:

- *Banjo type*
Tipe ini mudah dibuat sehingga saat ini banyak digunakan.
- *Build-up type*
Tipe ini mempunyai struktur yang paling kompleks, dibanding yang lain.
- *Split type*

Axle housing terpisah antara bagian kiri dan kanan. *Final gear* terpasang ditengah dengan menggunakan *bolt* untuk menghubungkannya. Pada tipe ini pemeriksaan dan pengadjustan *differential carrier (final gear)* lebih sulit dari tipe lain.



Gambar 2. 5 *Axle Housing*

2.2 *Cast Iron*

Cast iron atau besi tuang seperti halnya baja, pada dasarnya adalah paduan besi-karbon, besi tuang mengandung karbon dalam jumlah yang lebih banyak antara 2,6 – 6,67 % C. Karna karbon tinggi cenderung membuat besi tuang getas, pembuatannya paling banyak dengan *range* karbon 2,5 – 4 %.

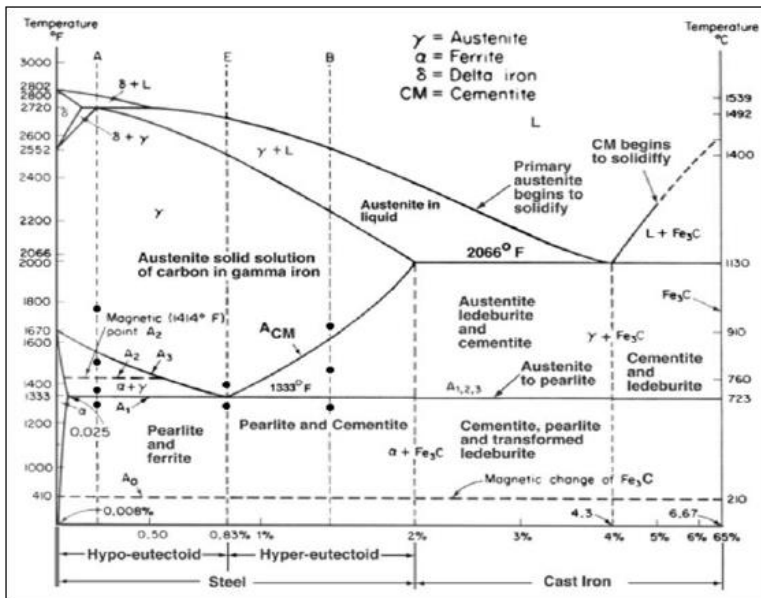
Meskipun umumnya besi tuang getas dan memiliki kekuatan yang rendah dari kebanyakan baja, besi tuang murah, dapat di cor lebih mudah daripada baja, dan memiliki sifat berguna lainnya. Dengan paduan yang tepat, dan kontrol penuangan yang bagus, serta perlakuan panas yang sesuai, sifat dari banyak besi tuang mungkin bisa bervariasi lebih luas.

Cara terbaik untuk megklasifikasikan besi tuang adalah menurut struktur metalografinya. Ada empat variabel untuk dipertimbangkan dimana jenis yang berbeda, yaitu kandungan karbon, unsur paduan atau kandungan *impurity*, laju pendinginan setelah membeku, dan perlakuan panas setelah pengecoran. Variabel ini mengendalikan kondisi karbon dan juga bentuk fisiknya. Karbon bisa digabungkan sebagai karbida besi di dalam



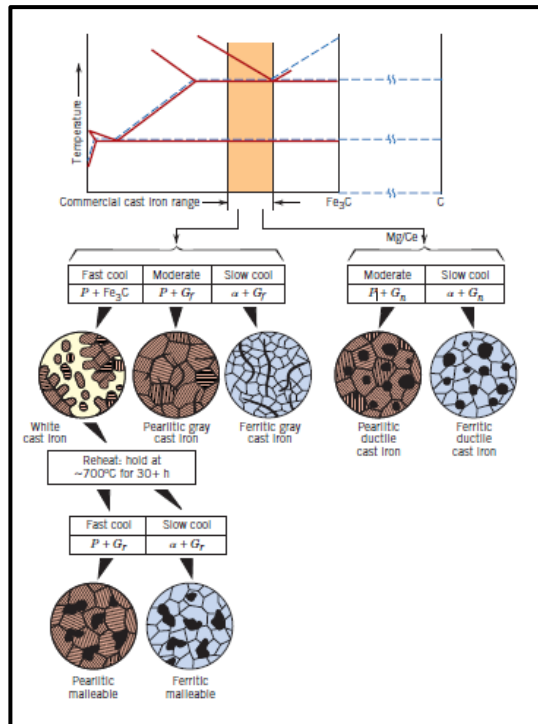
sementit, atau mungkin sebagai karbon bebas di dalam grafit. Bentuk dan distribusi partikel pada karbon bebas akan sangat berpengaruh pada sifat fisik besi tuang. Adapun jenis besi tuang sebagai berikut:

- Besi tuang putih (*white cast iron*) dimana seluruh karbon berupa sementit.
- Besi tuang mampu tempa (*malleable cast iron*), dimana karbonnya berupa temper karbon, dengan matriks perlit dan ferrit.
- Besi tuang kelabu (*grey cast iron*), dimana karbonnya berupa grafit berbentuk flake (serpih) dengan matriks ferrit dan perlit.
- Besi tuang nodular (*nodular cast iron*), dimana karbonnya berupa nodular graphite berbentuk bola dengan matriks ferrit dan perlit (Avner, 1987).



Gambar 2. 6 Diagram Fe-Fe₃C (ASM vol. 1, 1993)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 7 Diagram Fasa Besi-Carbon untuk Besi Tuang Komersil, dan Juga Menunjukkan Skema Mikrostruktur Berbagai Besi Tuang (Callister, 2009)

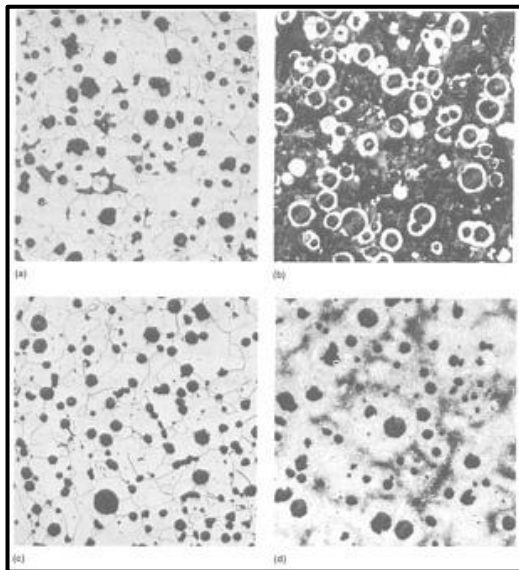
2.3 Ductile Cast Iron

Besi tuang ulet (*Ductile Cast Iron*) yang sebelumnya dikenal sebagai besi tuang nodular atau besi tuang *spheroid*, adalah besi tuang dimana grafit berbentuk bola kecil (nodul). Pada besi tuang ulet grafit memisah dari besi cair selama pemadatan dengan cara yang serupa dengan grafit yang memisah pada besi tuang kelabu. Namun, karena bahan tambahan di masukkan di dalam besi cair sebelum pengecoran, grafit tumbuh sebagai bola, bukan serpihan (*flake*) dari salah satu bentuk besi tuang kelabu. Besi tuang yang mengandung grafit *spheroid* lebih kuat dan memiliki elongasi lebih

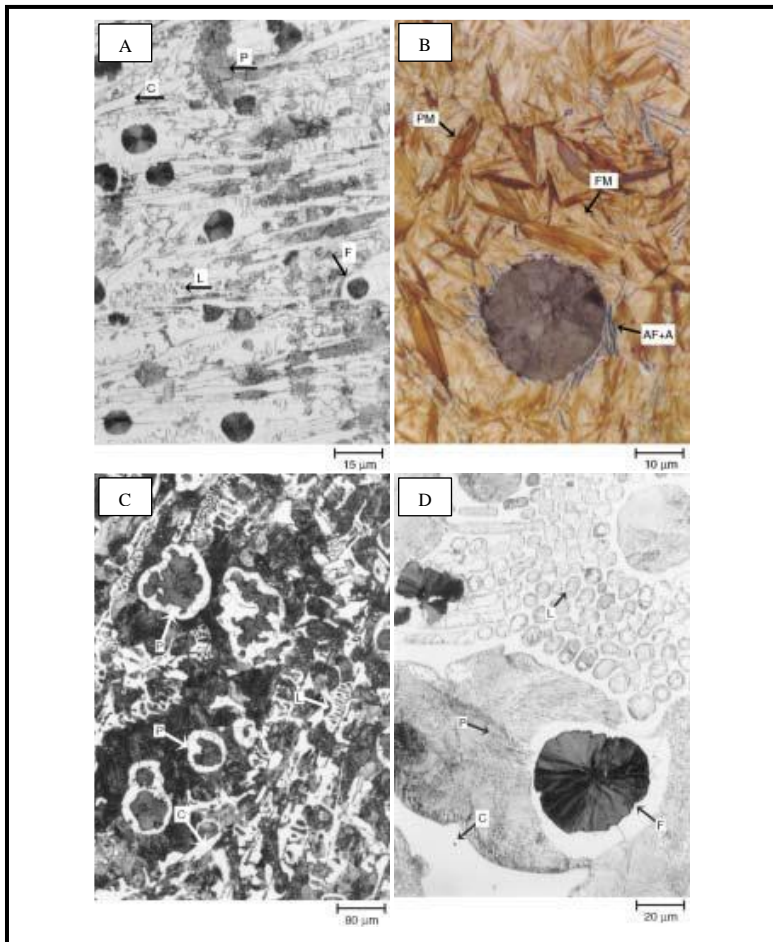


tinggi daripada besi tuang kelabu atau besi tuang mampu tempa. Ini dapat dianggap sebagai komposit alami dimana grafit bola memberikan sifat unik pada besi tuang ulet.

Grafit merupakan bagian terlemah dalam besi tuang, kekuatan besi tuang tergantung pada kekuatan dari matriksnya. Matriks ini tergantung kondisi dari sementit pada eutektoid. Bila komposisi dan laju pendinginan diatur sedemikian rupa, sehingga sementit pada eutektoid juga akan menjadi grafit, maka struktur dari matriks sepenuhnya ferritik. Sebaliknya bila grafitisasi dari sementit pada eutektoid dapat dicegah, maka struktur dari matriksnya adalah sepenuhnya perlitik. Struktur dari matriks ini dapat diatur mulai dari kedua keadaan ekstrim diatas, sepenuhnya ferritik atau yang merupakan campuran dari ferrit dan perlit dengan berbagai perbandingan atau sepenuhnya perlitik. Karenanya juga sifat dan kekuatan besi tuang ini akan bervariasi (ASM vol. 1, 1993).



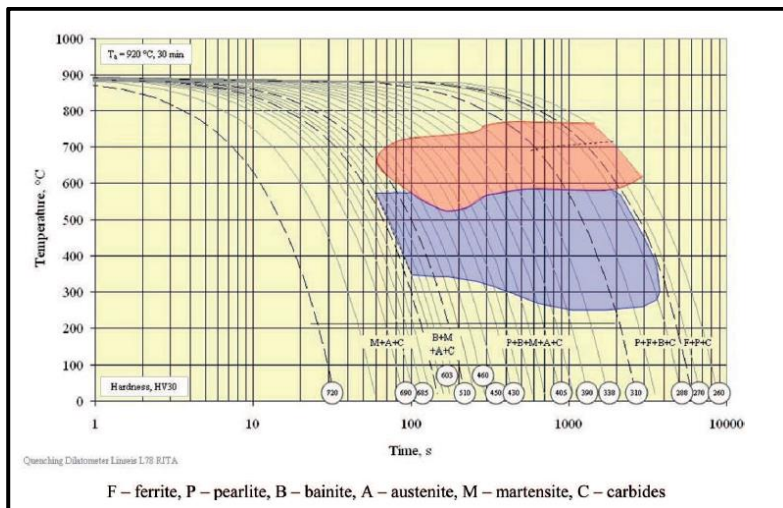
Gambar 2. 8 Mikrostruktur *Ductile Cast Iron* (ASM vol. 1, 1993)



Gambar 2. 9 Mikrostruktur *Ductile Cast Iron*. A) C, sementit; L, ledeburit; F, ferit; dan P, perlit. Etsa Nital 4%. Perbesaran 500x. B) PM, *plate* martensit; FM, *fine* martensit; dan AF+A, acicular ferit+austenite. Etsa Sodium Metabisulfite 10%. Perbesaran 1000x. C) C, sementit; L, ledeburit; F, ferit; dan P, perlit. Etsa Nital 4%. Perbesaran 100x. D) C, sementit; L, ledeburit; F, ferit; dan P, perlit. Etsa Nital 4%. Perbesaran 500x (Radzikowska, 2004)



Struktur mikro suatu logam sangat mempengaruhi sifat mekanik. Pada umumnya struktur mikro tergantung dari jenis logam, komposisi kimia, kecepatan pendinginan, dan temperatur awal sebelum terjadi transformasi. Hal ini dapat diamati melalui diagram fasanya, *Time Temperature Transformation* (TTT) diagram, *Continuous Cooling Transformation* (CCT) diagram, dan siklus termalnya. Pada besi tuang diagram CCT nya seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Kurva CCT Besi Tuang Nodular (Gumienny, 2015)

2.4 Pengelasan

Berdasarkan definisi *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih jauh bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. (Wirjosumarto, 2000).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

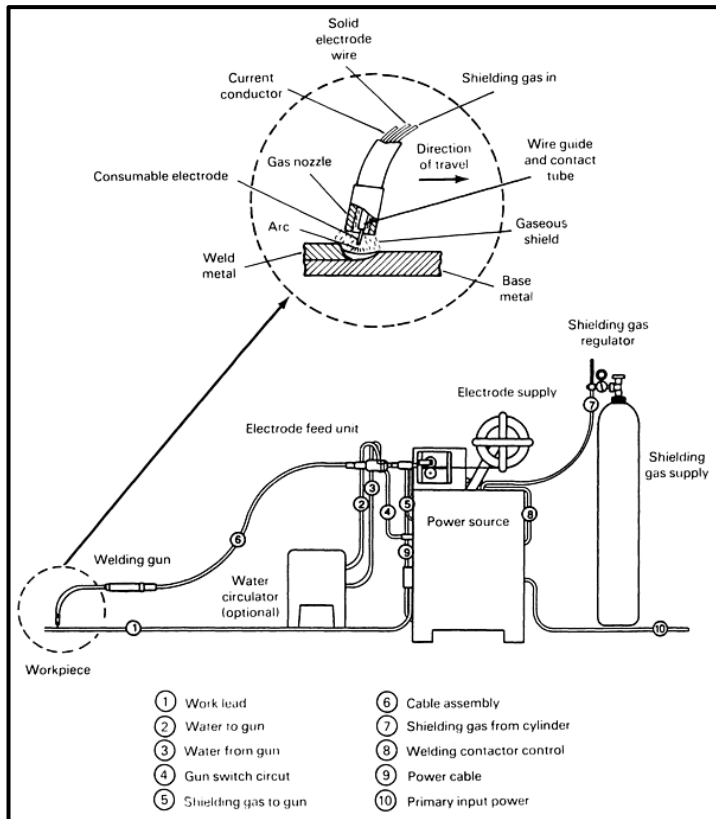


2.5 GMAW / MIG

Gas Metal Arc Welding (GMAW) juga biasa disebut *Metal Inert Gas* (MIG) adalah proses pengelasan busur yang menggabungkan logam bersama-sama dengan memanaskannya menggunakan busur listrik yang di bentuk antara elektroda konsumsi (kawat) dan benda kerja. Gas atau campuran gas disuplai secara eksternal untuk melindungi busur dan kolam las cair.

2.5.1 Proses

Prinsip Operasi. Dalam proses GMAW (Gambar 2.11), busur dibentuk antara elektroda sebagai logam pengisi dan benda kerja secara terus menerus. Setelah pengaturan yang benar dilakukan oleh operator, panjang busur dipertahankan pada nilai yang ditetapkan, meskipun ada perubahan yang wajar yang diharapkan pada jarak tembak ke benda kerja selama operasi normal. Pengaturan busur otomatis ini dicapai dengan satu dari dua cara. Metode yang paling umum adalah menggunakan unit umpan elektroda kecepatan konstan (namun dapat disesuaikan) dengan sumber arus variabel (arus tegangan konstan). Seiring perubahan hubungan tembakan ke benda kerja, yang seketika mengubah panjang busur, sumber daya memberikan arus lebih lama (jika panjang busurnya menurun) atau arus kurang (jika panjang busur meningkat). Perubahan arus ini akan menyebabkan perubahan yang sesuai pada laju lelehan elektroda, sehingga mempertahankan panjang busur yang diinginkan.



Gambar 2. 11 Skema dari Proses GMAW (ASM vol 6, 1993)

Metode kedua dari peraturan penggunaannya menggunakan sumber daya arus konstan dan perbedaan kecepatan, pengumpan elektroda pengenalan tegangan. Dalam kasus ini, seiring perubahan panjang busur, terjadi perubahan voltase di busur yang sesuai. Karena perubahan voltase ini terdeteksi, kecepatan unit elektroda terumpan akan berubah untuk memberikan elektroda kurang lebih per unit waktu. Metode pengaturan ini biasanya terbatas pada elektroda yang lebih besar dengan kecepatan umpan yang lebih rendah (ASM vol 6, 1993).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.5.2 Kelebihan dan Keterbatasan

Kelebihan dari GMAW:

- Proses elektroda konsumsi yang efisien yang bisa digunakan untuk mengelas semua logam komersial dan paduan
- Pengelasan dapat dilakukan di semua posisi
- Kecepatan pengelasan lebih tinggi dari proses SMAW
- Tingkat deposisi secara signifikan lebih tinggi proses SMAW
- Elektroda (kawat pakan) bersifat kontinyu, lasan panjang bisa diendapkan tanpa *intermediate* berhenti dan mulai
- Penetrasi lebih dalam
- Keterampilan operator kurang dibutuhkan, karena panjang busur tetap konstan dengan variasi variabel yang wajar di jarak antara ujung kontak dengan benda kerja

Keterbatasan dari GMAW:

- Peralatan pengelasan yang dibutuhkan untuk pengelasan GMAW lebih kompleks, lebih mahal, dan kurang portabel daripada untuk pengelasan SMAW
- Pengelasan GMAW sulit digunakan di tempat yang sulit dijangkau karena senapan las lebih besar dari pada pemegang elektroda SMAW dan senapan las harus dekat dengan sambungannya
- Busur pengelasan harus dilindungi terhadap draft udara yang melebihi 5 (mph), yang dapat membubarkan gas pelindung
- Tingkat radiasi panas dan intensitas busur yang relatif tinggi, dapat menyebabkan hambatan pada pihak operator untuk menerima proses tersebut (ASM vol. 6, 1993).

2.6 Pengelasan Besi Tuang

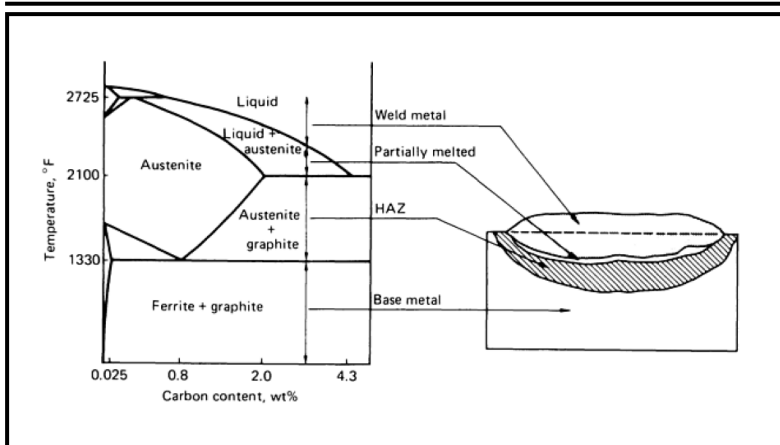
Pengelasan besi tuang termasuk sulit, karena kandungan karbonnya yang tinggi dan jenis yang bermacam-macam, dan juga *range* yang lebar pada mikrostruktur dan komposisi kimia. Besi tuang merupakan logam yang paling sulit di las.



Weld metal, terdiri dari logam dasar yang meleleh saat pengelasan, ditambah beberapa logam pengisi. Ketika besi tuang yang mencair di dinginkan secara cepat, karbon tidak ditolak dari lelehan seperti grafit, tapi bentuknya keras, karbida besi yang getas rentan untuk *crack* dan sulit di bentuk. Jumlah karbida besi yang terbentuk dapat dikurangi dengan menambahkan unsur paduan, dengan menggunakan logam pengisi yang sesuai, atau menggunakan metode las *low-dilution*. PWHT mungkin dapat mengurangi karbida pada logam las.

Fusion Zone, ada tiga daerah berbeda di *fusion zone*. Pertama *weld metal*, merupakan campuran logam dasar yang mencair dengan logam pengisi. Yang kedua logam dasar yang mencair tapi tidak tercampur dengan logam pengisi. Yang ketiga logam dasar yang hanya mencair sebagian. Pembentukan karbida dapat menjadi pada daerah itu dimana campuran dengan logam pengisi tidak menggantikannya.

Heat Affected Zone (HAZ), HAZ merupakan bagian dari logam dasar yang mencapai temperatur cukup tinggi untuk mempengaruhi proses metalurgi, tapi tidak cukup tinggi untuk membuatnya meleleh. Pada zona ini, tidak cukup menyebabkan masalah karbida. Bagaimanapun matriks berubah menjadi keras, struktur martensitik pada pendinginan cepat. Kegetasan yang berhubungan dengan martensit dapat dikurangi dengan pendinginan lambat atau PWHT (AWS D11.2-89, 1989).



Gambar 2. 12 Skema Representasi dari Zona Temperatur pada Tipe Besi Tuang (ASM vol 6, 1993)

2.7 Proses Joining

Tujuan proses penyambungan untuk menggabungkan dua material yang berbeda menjadi kesatuan yang utuh. Dalam kasus dua buah logam, ketika atom di tepi satu bagian mendekati cukup dekat dengan atom di tepi potongan lain, maka daya Tarik interatomik berkembang, dan kedua material itu menjadi satu. Kekasaran permukaan, *impurities*, ketidaksempurnaan yang pas, dan sifat bervariasi dari bahan yang disatukan menyulitkan proses penggabungan. Proses dan prosedur pengelasan telah dikembangkan untuk mengatasi kesulitan ini dengan memasukkan penggunaan panas atau tekanan, atau keduanya (AWS vol 1, 2001).

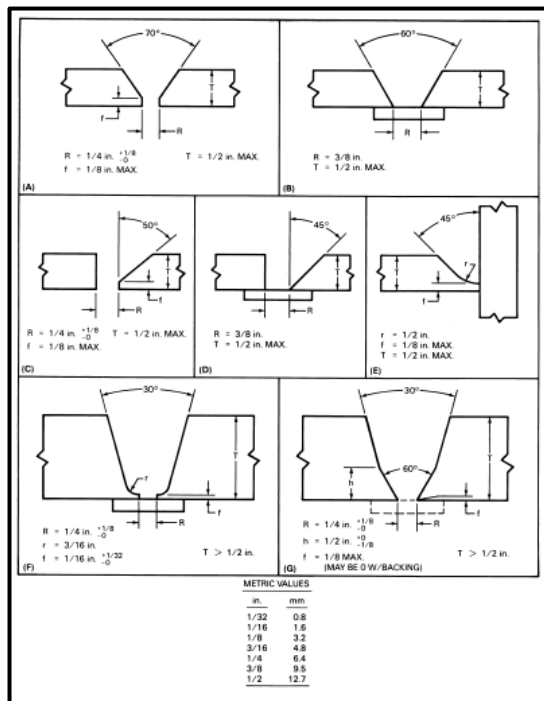
2.7.1 Material Tipis

Pengelasan pada besi tuang sebaliknya menggunakan *single-V* atau *single-U groove*. Logam pengisi berbasis nikel, *angle groove* harus ditingkatkan untuk memungkinkan memanipulasi *weldpool* yang melemah. *Root face* harus dikurangi karena elektroda berbasis nikel mengurangi penetrasi pada *root* daripada elektroda berbasis baja.



2.7.2 Material Tebal

Untuk ketebalan yang lebih besar dari $\frac{1}{2}$ in (12.7 mm), *groove* rata-rata menyalurkan tegangan, maka dari itu harus digunakan selama pengelasan. *Double welded joints* berguna dalam aplikasi seperti itu, saat kedua sisi *joints* dapat diakses. Untuk ketebalan sampai dengan $\frac{3}{4}$ in (19 mm), *double V-groove* dan *double U-groove* dapat digunakan. Untuk ketebalan lebih dari $\frac{3}{4}$ mm. *Double U-groove* dan *double V-groove* seharusnya dipertimbangkan (AWS D11.2-89, 1989).



Gambar 2. 13 Rekomendasi Sambungan Penetrasi Komplit dengan *Single Groove* (AWS D11.2-89, 1989)



2.8 *Preheat*

Pada pengelasan besi tuang, untuk menghindari pengerasan di daerah pengaruh panas (HAZ) dan untuk menghilangkan tegangan sisa pada pengelasan pelat tebal, biasanya dilakukan pemanasan awal, pemanasan kemudian, atau dalam hal lapis banyak diusahakan menahan temperatur pengelasan sehingga pendinginan tidak berjalan terlalu cepat (Wiryosumarto, 2000).

Pemanasan awal besi tuang sebelum pengelasan memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Meningkatkan perpaduan logam las ke alur *groove* untuk mendapatkan paduan yang sempurna
2. Mencegah *crack* yang disebabkan oleh perubahan temperatur dan tegangan panas
3. Mengurangi tegangan sisa
4. Mengurangi distorsi
5. Mengurangi kekerasan di HAZ
6. Mengurangi perubahan temperatur ketika mengelas material tipis ke material tebal
7. Mengurangi perubahan temperatur pada pengelasan *dissimilar* (AWS D11.2-89, 1989).

2.9 **PWHT**

Post Weld Heat Treatment (PWHT) dapat didefinisikan sebagai proses perlakuan panas yang dilakukan setelah pengelasan, untuk melunakkan martensit di *weld metal* dan HAZ, yang bertujuan untuk mengurangi residual stress yang terjadi selama proses pengelasan (Funderburk, 1998).



Tabel 2. 1 Rekomendasi Metode PWHT

<i>Heat Treatment</i>	<i>Temperature</i>		<i>Holding Time (per workpiece thickness)</i>	<i>Cooling Rate</i>
	°C	°F		
Stress Relieve	510-565 (A)	950-1050 (A)	1 H/in	(F)
	565-595 (B)	1050-1100 (B)	1 H/in	(F)
	540-650 (C)	1000-1200 (C)	1 H/in	(F)
	620-675 (D)	1150-1250 (D)	1 H/in	(F)
Ferritize Anneal	900-955	1650-1750	1 H + 1 H/in	(G)
Full Anneal	870-900	1600-1650	1 H/in	(H)
Graphitizing Anneal
Normalizing Anneal
Normalizing and Tempering Anneal	900-940	1650-1725	2 H/in ^(E)	(I)

(A) Unalloyed

(B) Low Alloy

(C) High Alloy

(D) Austenitic

(E) Minimal 2 Jam

(F) Pendinginan *furnace* hingga 350 °C (600 °F) pada 55 °C/H (100°F/H), pendinginan udara hingga temperatur ruangan.

(G) Pendinginan *furnace* hingga 690 °C (1275 °F), tahan pada 690 °C (1275 °F) selama 5 H + 1 H/in. Untuk ketebalan,

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



- pendinginan *furnace* sampai 345 °C (650 °F) pada 55 °C/H (100°F/H), pendinginan udara hingga temperature ruangan.
- (H) Pendinginan *furnace* hingga 345 °C (650 °F), pada 55 °C/H (100°F/H), pendinginan udara hingga temperatur ruangan.
- (I) Pendinginan cepat dengan udara hingga 540 sampai 640 °C (1000 to 1200 °F), pendinginan *furnace* hingga 345 °C (650 °F), pada 55 °C/H (100°F/H), pendinginan udara hingga temperatur ruangan. (ASM vol 6, 1993).

2.10 Gas Pelindung

Gas pelindung yang digunakan dalam proses pengelasan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keseluruhan kinerja sistem pengelasan. Fungsi utamanya adalah melindungi logam cair dari atmosfer nitrogen dan oksigen saat kolam las terbentuk. Gas pelindung juga mendorong busur yang stabil dan perpindahan logam yang seragam. Pada pengelasan busur gas (GMAW) dan pengelasan busur berfluktuasi fluks (FCAW), gas yang digunakan memiliki pengaruh besar pada bentuk perpindahan logam selama pengelasan. Hal ini, pada saatnya, mempengaruhi efisiensi, kualitas, dan dukungan operator secara keseluruhan terhadap proses pengelasan.

Gas pelindung berinteraksi dengan logam dasar dan dengan logam pengisi, jika ada akan menghasilkan kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi pada pengelasan. Hal ini juga dapat mempengaruhi bentuk *bead* las dan pola penetrasi.

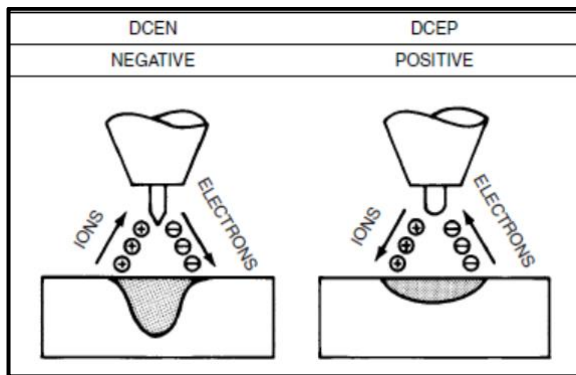
Memahami sifat dasar gas pelindung akan membantu dalam pemilihan gas yang tepat untuk aplikasi pengelasan. Penggunaan campuran gas terbaik akan meningkatkan kualitas dan dapat mengurangi biaya keseluruhan operasi pengelasan juga (ASM vol 6, 1993).

2.11 Polaritas

Polaritas adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan sambungan listrik dari pistol pengelasan dalam kaitannya dengan terminal sumber daya arus searah (DC). Ketika



ujung kabel daya terhubung ke terminal positif, polaritas ditetapkan sebagai arus searah, elektroda positif (DCEP). Benda kerja adalah katoda dan elektroda berfungsi sebagai anoda. Atau, koneksi ke terminal negatif ditetapkan sebagai arus searah, elektroda negatif (DCEN). Sebagian besar aplikasi GMAW menggunakan DCEP, karena menyediakan busur stabil, percikan rendah, profil manik las yang baik, dan kedalaman penetrasi terbesar (ASM vol 6, 1993).

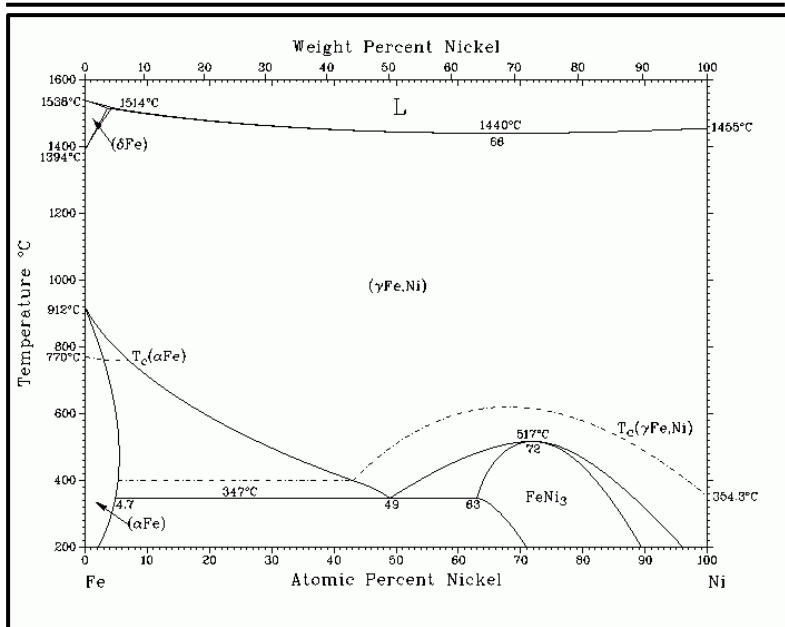


Gambar 2. 14 Pengaruh Polaritas Terhadap Lasan

2.12 *Filler Metal*

Filler metal adalah logam murni atau paduan yang jika dipanaskan hingga titik leburnya maka akan mengalir ke celah dari dua sisi material yang hendak dilas membentuk pola seperti hasil *brazing*, *welding* maupun *soldering* (Cary, 2005). *Filler metal* biasanya digunakan untuk kegiatan penyambungan untuk pengelasan. Bentuk dari *filler metal* dapat berupa *rod*, *wire* maupun *electrodes* (AWS vol 1, 2001). *Filler metal* yang digunakan pada penelitian kali ini adalah berupa nikel. Penggunaan nikel ditujukan untuk mencegah retakan atau distorsi sebagai akibat adanya pendinginan yang cepat ataupun adanya sifat kegetasan pada material (Higgins, 1993). Paduan yang terdapat pada *filler metal* dengan logam ini diantaranya adalah nikel sebesar 45% - 57%.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



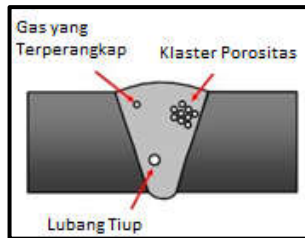
Gambar 2. 15 Diagram Fasa Fe-Ni (Swartzendruber, 1991)

2.13 Cacat Las

Proses pengelasan GMAW mampu memberikan hasil lasan yang bagus dalam kondisi yang tepat. Namun seperti halnya proses apapun, potensi terjadinya cacat pada pengelasan bisa terjadi. Hal ini bisa terjadi karena tidak tepatnya parameter las yang digunakan ataupun kondisi lingkungan. Berikut jenis-jenis cacat las yang bisa terjadi.

1. Porositas

Cacat ini merupakan cacat yang disebabkan adanya gas yang terperangkap di daerah lasan.

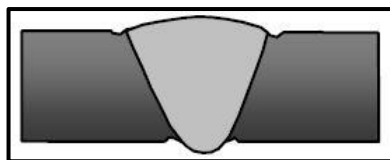


Gambar 2. 16 Cacat Porositas (Sahlan, 2015)

2. *Undercut*

Cacat las yang lain adalah pengerukan atau yang sering disebut dengan *undercut* pada benda kerja. Pengerukan ini terjadi pada benda kerja atau konstruksi yang termakan oleh las sehingga benda kerja tadi berkurang kekuatannya meskipun sebelumnya telah dilakukan pengelasan. Sebab-sebab pengerukan las antara lain:

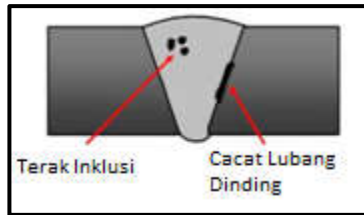
- a. Arus yang terlalu tinggi
- b. Kecepatan pengelasan yang terlalu tinggi
- c. Busur nyala yang terlalu panjang
- d. Ukuran elektroda yang salah
- e. Posisi elektroda selama pengelasan tidak tepat
- f. Ayunan elektroda selama pengelasan tidak teratur



Gambar 2. 17 Cacat *Undercut* (Sahlan, 2015)

3. *Slag Inclusion*

Slag Inclusion adalah partikel kontaminan yang terperangkap dalam *weld metal*. Hal ini dapat terjadi karena akibat pembersihan pada permukaan yang kurang bersih dan juga *flux* yang masuk ke *weld metal*.



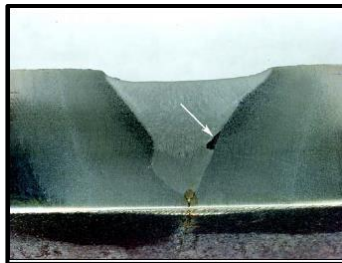
Gambar 2. 18 Cacat *Slag Inclusion* (Sahlan, 2015)

4. *Incomplete Fusion*

Incomplete Fusion adalah hasil lasan yang tidak tersambung dengan sempurna. Cacat ini dapat disebabkan oleh kesalahan penggunaan besar arus, kecepatan pengelasan terlalu tinggi, pemilihan elektroda yang tidak tepat, maupun kesalahan pengelas. Cara mengatasinya adalah sebagai berikut:

- Memperbaiki posisi pengelasan
- Penggunaan arus harus sesuai dengan prosedur
- Pemilihan elektroda yang sesuai
- Kecepatan pengelasan harus sesuai prosedur

(Sahlan, 2015)



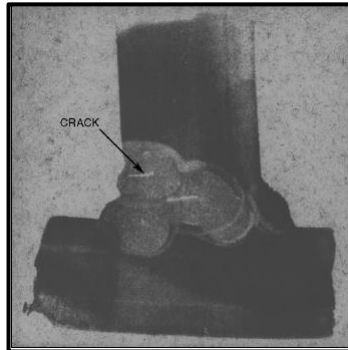
Gambar 2. 19 Cacat *Incomplete Fusion* (AWS vol. 2, 2004)

5. *Crack*

Crack/retak logam las adalah salah satu diskontinuitas yang paling serius yang mungkin ada dalam lasan. Retak sering dihasilkan dari kondisi metalurgi yang ada, dan mereka



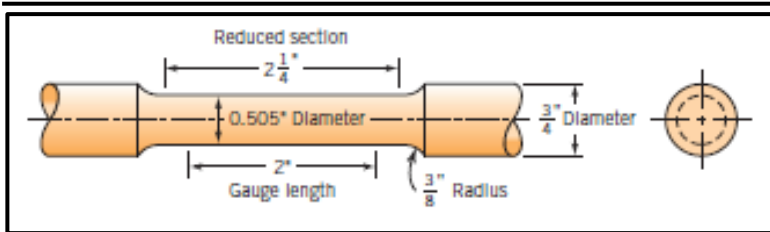
sangat bergantung pada material yang dilas (AWS vol. 2, 2004)



Gambar 2. 20 Cacat *Crack* pada *Weld Metal* (AWS vol. 2, 2004)

2.14 Uji Tarik

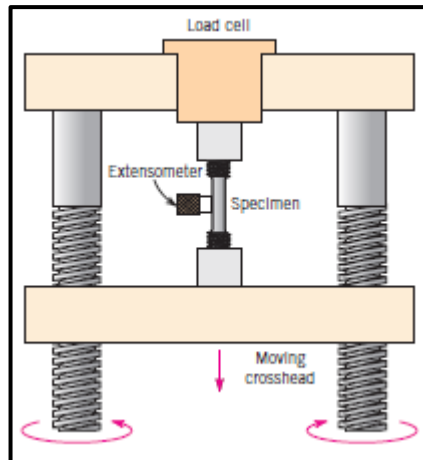
Salah satu pengujian mekanis yang paling umum dilakukan adalah ketegangan. Seperti yang terlihat, uji ketegangan dapat digunakan untuk memastikan beberapa sifat mekanik material yang penting dalam desain. Spesimen cacat, biasanya patah, dengan beban tarik yang meningkat secara bertahap yang diterapkan secara uniaksial sepanjang panjang sumbu spesimen. Spesimen tarik standar ditunjukkan pada Gambar 2.21. Biasanya, penampang melingkar, tapi spesimen persegi panjang juga digunakan. Bentuk spesimen ini dipilih sehingga, selama pengujian, deformasi terbatas pada daerah pusat yang sempit (yang memiliki penampang melintang sepanjang panjangnya), dan juga untuk mengurangi kemungkinan patah tulang pada ujung spesimen. Diameter standar kira-kira 12,8 mm. Sedangkan panjang bagian yang dikurangi setidaknya empat kali diameter ini, umumnya 60 mm. Panjang *gauge* digunakan dalam perhitungan keuletan, nilai standarnya adalah 50 mm.



Gambar 2. 21 Standar Spesimen Uji Tarik dengan Bentuk Melingkar (Callister, 2009)

Spesimen ini dipasang oleh ujungnya ke pegangan memegang alat uji (Gambar 2.22). Mesin uji tarik ini dirancang untuk memanjangkan spesimen pada kecepatan konstan dan untuk mengukur secara terus menerus dan simultan beban terapan sesaat dan elongasi yang dihasilkan (menggunakan ekstensometer). Tes tegangan-regangan biasanya memakan waktu beberapa menit untuk dilakukan dan bersifat destruktif, artinya, spesimen uji cacat secara permanen dan biasanya retak.

Hasil uji tarik dicatat (biasanya pada komputer) sebagai beban atau kekuatan versus elongasi. Karakteristik deformasi beban ini tergantung pada ukuran spesimen. Sebagai contoh, diperlukan dua kali beban untuk menghasilkan elongasi yang sama jika luas penampang spesimen digandakan. Untuk meminimalkan faktor geometris ini, beban dan elongasi dinormalisasi ke masing-masing parameter tegangan teknik dan regangan teknik (Callister, 2009).



Gambar 2. 22 Skema Mesin Uji Tarik (Callister, 2009)










2.15 Kekerasan

Sifat mekanik lain yang penting untuk dipertimbangkan adalah kekerasan, yang mana adalah ukuran ketahanan material terhadap deformasi plastis lokal (misalnya penyok atau goresan). Uji kekerasan awalnya dilakukan pada mineral alami dengan skala yang dibangun semata-mata pada kemampuan satu bahan untuk menggoreskan yang lebih lembut. Skema indeks kekerasan kualitatif dan berubah-ubah dirancang, disebut skala Mohs, yang berkisar dari 1 untuk yang lembut seperti serbuk sampai 10 untuk berlian. Teknik kekerasan kuantitatif telah dikembangkan selama bertahun-tahun di mana indenter kecil diberi gaya ke permukaan material yang akan diuji, di bawah kondisi beban yang terkendali. Kedalaman atau ukuran lekukan yang dihasilkan diukur, yang pada waktunya akan menjadi nomor kekerasan. Semakin lembut bahannya, semakin besar dan dalam lekukannya, semakin rendah pula nomor indeks kekerasannya. Kekerasan terukur hanya bersifat relatif (bukan mutlak), dan perawatan harus dilakukan saat membandingkan nilai yang ditentukan oleh teknik yang berbeda.

Uji kekerasan dilakukan lebih sering daripada uji mekanik lainnya untuk beberapa alasan:

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

1. Preparasi sederhana, tidak dibutuhkan bentuk spesimen yang khusus, dan alat uji relatif tidak mahal
2. Tes ini tidak merusak, spesimen tidak retak atau cacat berlebih. Sebuah lekukan kecil adalah satu-satunya deformasi
3. Sifat mekanik lainnya seringkali diperkirakan dari data kekerasan, seperti kekuatan tarik (Callister, 2009).

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and superficial Rockwell	{ Diamond cone: $\frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32}$ in. diameter steel spheres		 	{ 60 kg 100 kg 150 kg 15 kg 30 kg 45 kg	{ Rockwell Superficial Rockwell

Gambar 2. 23 Teknik Pengujian Kekerasan (Callister, 2009)

2.13 Metallografi

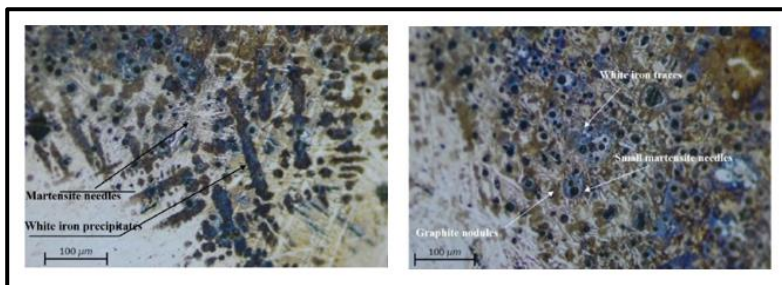
Metallografi adalah disiplin ilmu yang bertujuan memeriksa dan menentukan struktur yang mendasari suatu logam, paduan dan bahan. Pemeriksaan struktur dapat dilakukan melalui berbagai panjang sisik atau tingkat pembesaran, mulai dari visual atau perbesaran rendah (20x) pemeriksaan ke perbesaran lebih dari 1.000.000× dengan mikroskop elektron. Metallografi juga dapat mencakup pemeriksaan struktur kristal dengan teknik seperti difraksi sinar-x. Namun, alat yang paling akrab adalah metallografi mikroskop cahaya, dengan perbesaran mulai dari 50-1000× dan kemampuan untuk menyelesaikan mikrostruktur 0.2 μm atau lebih besar (ASM vol 9, 2004).



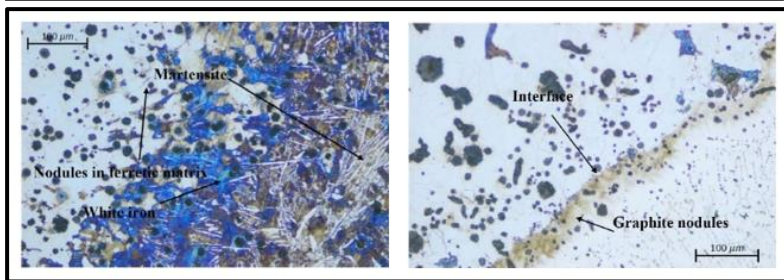
2.14 Penelitian Sebelumnya

Adapun penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini dan terlebih dahulu dilakukan dapat dijadikan sebagai referensi, diantaranya sebagai berikut:

- Pengelasan TIG pada material *ductile cast iron* menggunakan inconel 625 sebagai sumber rod dan *filler* yang digunakan yaitu elektroda yang telah dilapisi (*coating*) dengan 97,6% Ni. Arus yang digunakan yaitu 120-130A. Temperatur *preheat* yang digunakan yaitu 350°C. Kemudian diberi perbedaan perlakuan yaitu salah satu spesimen mengalami pendinginan udara dan satu lagi mengalami *annealing* pada temperatur 900 °C. Hasil yang didapat yaitu nilai kekerasan pada spesimen yang mengalami perlakuan *annealing* memiliki kekerasan yang lebih rendah daripada spesimen tanpa perlakuan *annealing*. Struktur mikro pada spesimen yang menggunakan pendinginan udara tanpa *annealing* menunjukkan adanya martensit dan presipitat dari *white cast iron*, serta terdapat grafit nodular pada spesimen (Gambar 2.24), sedangkan struktur mikro pada spesimen yang menggunakan metode PWHT *annealing* tidak memiliki martensit maupun presipitat dari *white cast iron*, hanya terdapat grafit nodular (Gambar 2.25) (Javier, 2016).



Gambar 2. 24 Struktur Mikro Tanpa PWHT Annealing (Javier, 2016)



Gambar 2. 25 Struktur Mikro dengan PWHT *Annealing* (Javier, 2016)

- Dilakukan penelitian yang bertujuan untuk memperbaiki *crack* yang terjadi pada *exhaust manifold* (FCD 600) pada bagian siku pipa dikarenakan adanya aliran turbulensi gas panas. Proses *repair* ini menggunakan pengelasan SMAW, dengan filler NiFe-Ci dan E309Mol-16. Di dapat kekerasan menggunakan filler NiFe-Ci pada daerah *base* sebesar 196,92 HB, HAZ sebesar 255,6 HB, dan *weld metal* sebesar 195,12 HB. Sedangkan kekerasan menggunakan filler E309Mol-16 pada daerah *base* sebesar 198,54 HB, HAZ sebesar 250,36 HB, dan *weld metal* sebesar 201,78 HB. Hasil uji metalografi pada daerah base adalah pearlit dan ferrit, setelah dilakukan pengelasan pada daerah *base* menunjukkan fasa yang sama tetapi ada peningkatan ukuran pada fasa pearlit. Sedangkan pada daerah HAZ, kedua spesimen menunjukkan adanya fasa baru yang terbentuk berupa *widmanstatten* yang terlihat dari hasil uji menggunakan SEM, dan peningkatan luas are pearlit yang mengakibatkan adanya peningkatan pada nilai kekerasan. Pada daerah *weld metal* dengan filler NiFe-Ci terlihat matriks berupa ferrit dengan grafit, sedangkan pada E309Mol-16 matriks berupa austenite dengan nilai kekerasan masih dalam *range* material original (Fakhrozi, 2016).



- Penelitian tentang analisis sifat mekanik hasil pengelasan *cast iron*. Metode pengelasan menggunakan metode SMAW dan *oxyacetylene welding*, dengan filler nikel base dan *cast iron rod* (RCI) untuk menyambungkan *grey cast iron*. Pengelasan ini juga menggunakan *preheat* dan PWHT. Temperatur *preheat* yang digunakan yaitu 350 °C, dan temperature PWHT 850 °C selama sejam untuk meningkatkan sifat mekanik. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa:
 1. Pemanasan dan pendinginan yang cepat mempengaruhi karakteristik hasil pengelasan. Menghasilkan mikrostruktur yang keras di HAZ, yang bertanggung jawab terhadap atas penurunan kualitas lasan
 2. Dalam penelitian ini diamati bahwa pembentukan martensit dan karbida di *fusion zone* dapat dikendalikan melalui pengendalian laju pendinginan dengan *preheat* atau PWHT dan menggunakan bahan pengisi dasar nikel.
 3. *Preheat* meningkatkan keuletan dari bagian las dengan meminimalkan struktur mikro yang keras dan rapuh. Perlakuan anil dapat diganti sebagai *preheat* awal yang juga meningkatkan keuletan.
 4. Perlakuan panas memberikan hasil seperti; mengurangi tegangan sisa, mengurangi laju pendinginan, dan meningkatkan fluiditas dan difusi dari *filler* metal (Sutar, 2015).
- Besi tuang dapat diberi perlakuan panas untuk memperbaiki sifat-sifatnya. Dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan *quenching temper*, *normalizing* dan *annealing* terhadap sifat mekanik dan stuktur mikro besi tuang grafit bulat. Bahan yang dipakai ini berupa besi tuang nodular FCD. Pada penelitian diuji sifat mekanik (kekuatan tarik dan kekerasan) serta pengamatan

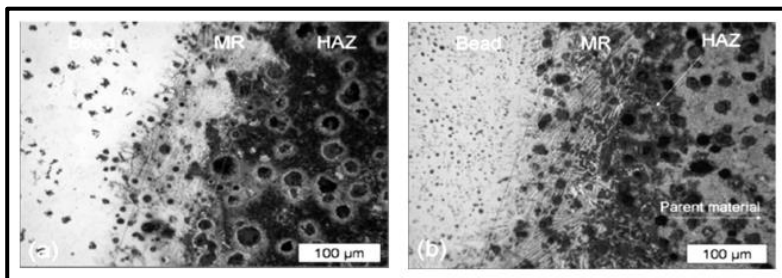


metallografi. Pada spesimen yang di-quenching temper struktur mikro terdapat fasa martensit dan austenite. Spesimen yang di-normalizing terdapat fasa perlit halus, sementit, dan ferrit. Dan pada spesimen yang di-annealing terdapat fasa perlit kasar dan ferrit. Nilai kekerasan rata-rata 501,1 HB (quenching temper), 297,2 HB (normalizing), dan 229,1 HB (annealing). Sedangkan kekuatan tarik sebesar 933 N/mm² (quenching temper), 474 N/mm² (normalizing), 380 N/mm² (annealing). Ada spesimen yang diberi perlakuan panas quenching temper mempunyai kekuatan tarik dan kekerasan yang lebih baik dibandingkan hasil spesimen lainnya tetapi tegangan luluhnya tak terukur, karena getas (Diniardi, 2012).

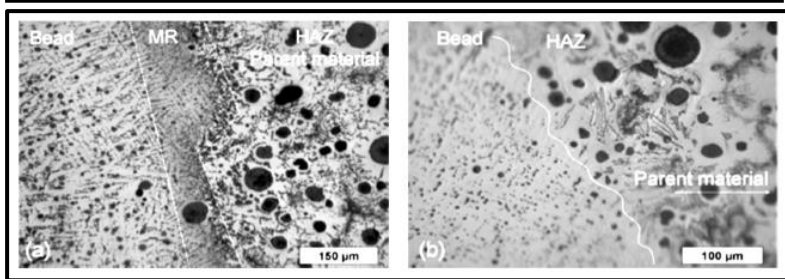
- Hasil penelitian tentang struktur HAZ pada *ductile cast iron* menunjukkan bahwa komposisi dari *ductile cast iron* yang sangat heterogon mengandung karbida yang keras dan rapuh pada daerah *partial fusion zone*. *Partial fusion zone* tidak dapat dicegah secara efektif. Kekerasan yang tinggi dari *ductile cast iron* menyebabkan matriks cenderung membentuk martensit jika pemanasan awal tidak digunakan. Mengontrol *preheat* agar mencegah martensit terbentuk sangat penting untuk menghindari masalah yang terkait dengan grafit sekunder. Selama temperatur pemanasan awal, temperature interpass, dan temperatur postweld dipertahankan di atas temperatur martensit start besi tuang, pembentukan martensit akan dapat dicegah. Temperatur ini mungkin harus dipertahankan untuk waktu yang cukup lama setelah pengelasan (Voigt, 1983).
- Dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan las dari *ductile cast iron* menggunakan filler Ni/NiFe. Adapun penelitian tersebut menggunakan pengelasan busur dengan arus 140 A dengan *preheat* 350 °C dan PWHT metode anil 850 °C. Di dapatkan hasil dari



pengujian tarik menggunakan *preheat* tanpa PWHT sebesar 340 Mpa untuk Ni 97,6%, dan 480 Mpa untuk NiFe. Dengan menggunakan PWHT didapatkan kekuatan tarik sebesar 388 Mpa untuk Ni 97,6%, dan 400 Mpa untuk NiFe. Untuk uji kekerasan menggunakan *preheat* tanpa PWHT di dapatkan nilai kekerasan untuk elektroda Ni 97,6% sebesar 175 HV, 300 HV, 230 HV untuk daerah *weld metal*, *fusion zone*, dan HAZ. Setelah PWHT didapatkan kekerasan sebesar 170 HV, 251 HV, 178 HV untuk daerah *weld metal*, *fusion zone*, dan HAZ. Sedangkan untuk *filler* NiFe menggunakan *preheat* tanpa PWHT di dapatkan nilai kekerasan sebesar 180 HV, 330 HV, 240 HV untuk daerah *weld metal*, *fusion zone*, dan HAZ. Setelah PWHT didapatkan kekerasan sebesar 185 HV, 321 HV, 180 HV untuk daerah *weld metal*, *fusion zone*, dan HAZ. Struktur mikro tanpa PWHT *annealing* menunjukkan bahwa dengan elektroda NiFe 57,2% memiliki daerah HAZ lebih luas dibandingkan dengan elektroda Ni 97,6% (Gambar 2.26), sedangkan struktur mikro dengan perlakuan PWHT *annealing* 850 °C menunjukkan bahwa tidak ditemukannya daerah *melt region* pada elektroda Ni 97,6%.



Gambar 2. 26 Struktur Mikro Tanpa PWHT *Annealing*. (a) Pengelasan dengan Elektroda NiFe 57,2%, (b) Pengelasan dengan Elektroda Ni 97,6% (Pascual, 2009)



Gambar 2. 27 Struktur Mikro dengan PWHT *Annealing* 850 °C.
(a) Pengelasan dengan Elektroda NiFe 57,2%, (b) Pengelasan dengan Elektroda Ni 97,6% (Pascual, 2009)

Dalam penelitian tersebut di dapatkan kesimpulan bahwa:

1. Elektroda Ni kemurnian tinggi menunjukkan hasil las yang lebih baik daripada elektroda Ni-Fe. Dihasilkan dari keuletan yang meningkat karena struktur acicular yang lebih rendah terbentuk dan distribusi grafit seragam yang lebih baik pada bead.
2. Perlakuan *preheat* meningkatkan keuletan bagian las dengan meminimalkan mikrostruktur yang keras dan rapuh.
3. Perlakuan anil menjadi pilihan sebagai pengganti *preheat* yang juga meningkatkan keuletan (Pascual, 2009).

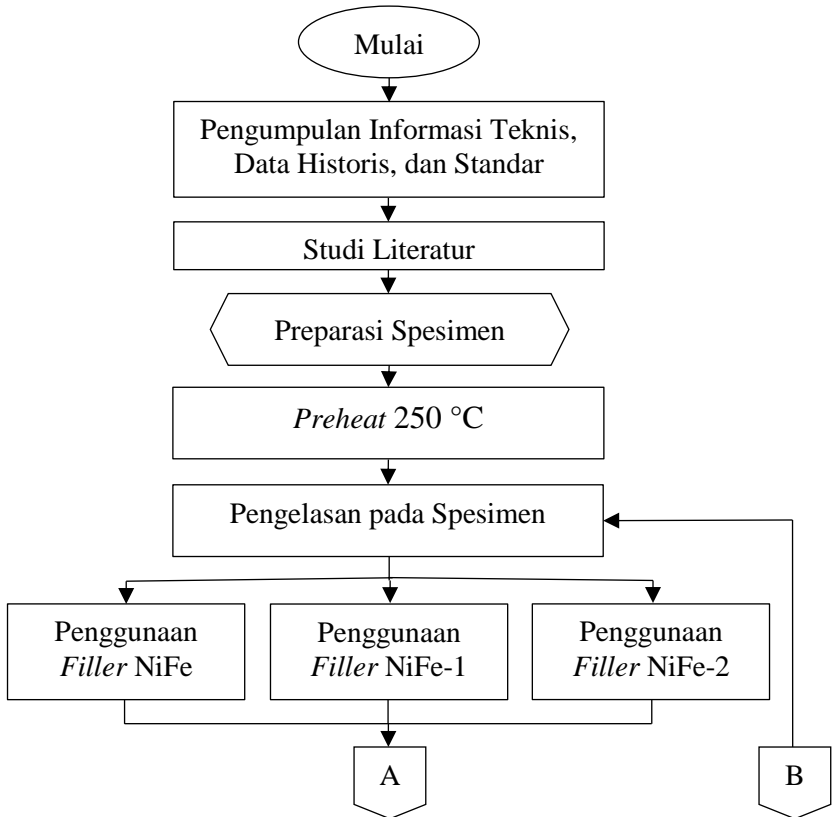


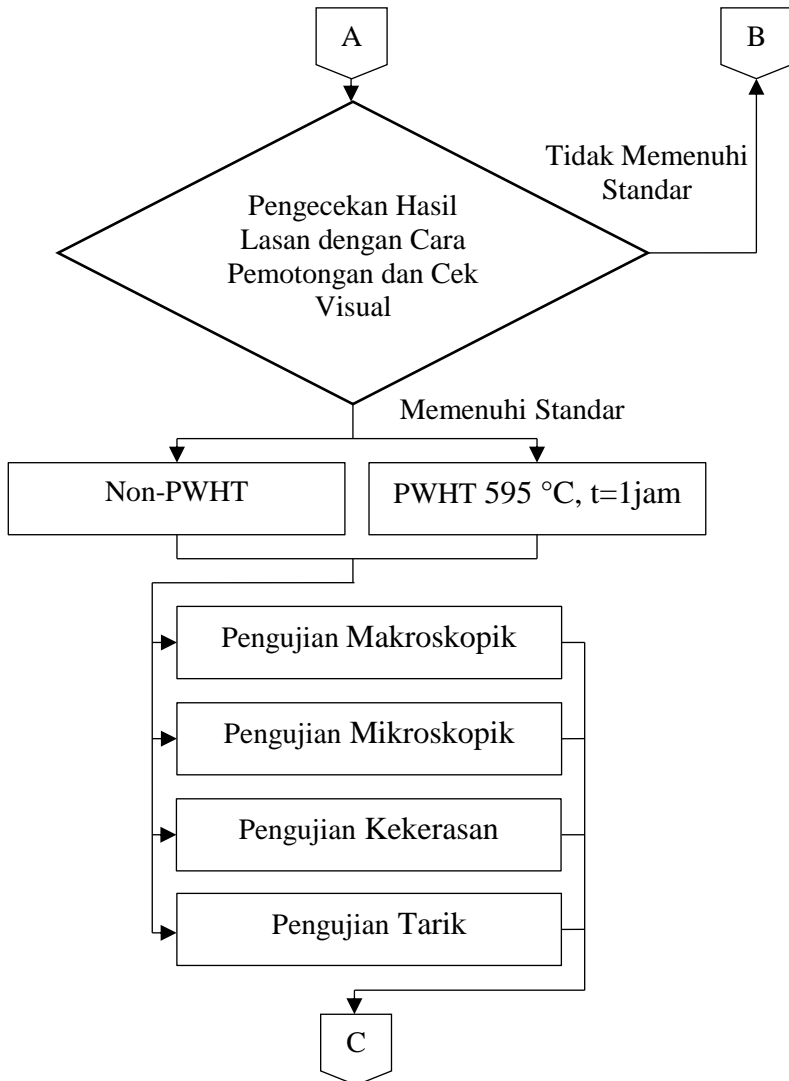
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

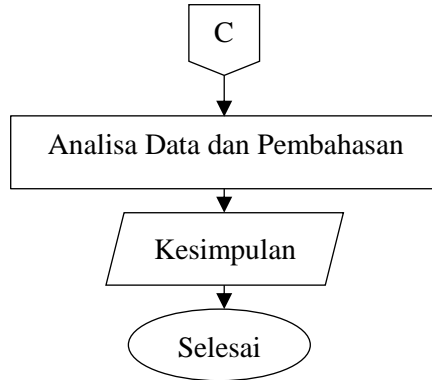
BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir untuk penelitian ini:







Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian ini sesuai tabel berikut ini:

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian

Filler	Pengelasan	Defect Cek	Perlakuan	Pengujian Spesimen			
				Makroskopik	Mikroskopik	Kekerasan	Tarik
NiFe	✓	✓	Non-PWHT	✓	✓	✓	✓
			PWHT	✓	✓	✓	✓
NiFe-1	✓	✓	Non-PWHT	✓	✓	✓	✓
			PWHT	✓	✓	✓	✓
NiFe-2	✓	✓	Non-PWHT	✓	✓	✓	✓
			PWHT	✓	✓	✓	✓

3.3 Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa metode yaitu studi lapangan, studi literatur, dan pengujian spesimen. Studi lapangan mengacu pada pencarian informasi terkait komponen yang akan diteliti beserta kondisi operasi komponen. Studi literatur berupa pencarian referensi ilmiah melalui *handbook*, standar internasional, jurnal penelitian, dan sumber lain yang menunjang informasi yang

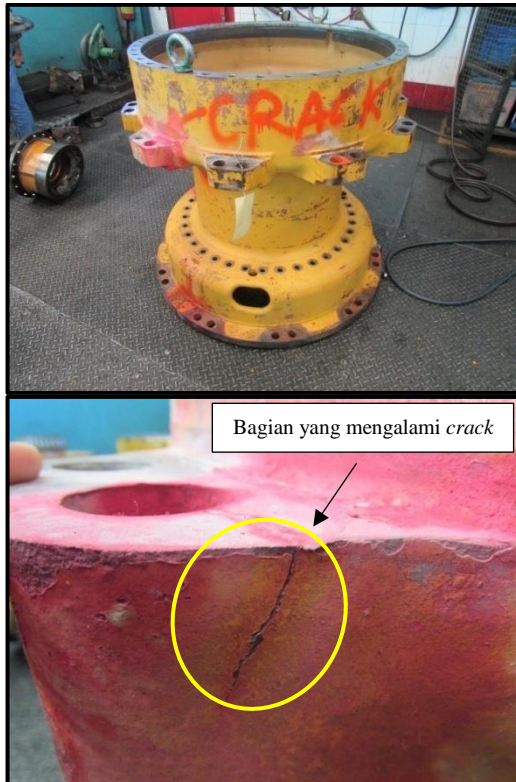


ada. Selain itu juga dilakukan metode pengujian diantaranya adalah pengujian visual, mikrostruktur, dan mekanik.

3.4 Bahan Penelitian

3.4.1 Material Uji

Material uji yang digunakan pada penelitian ini yaitu *cast iron* FCD 450 pada komponen *axle hub* HD785-7 yang mengalami *crack* pada bagian *stud bold* seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Komponen *Axle Hub* yang Mengalami *Crack*



Adapun sifat mekanik dan komposisi kimia dari material uji seperti pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3. 2 Komposisi Kimia *Cast Iron FCD 450* (ASM Vol. 1)

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	P	S
3.60-3.80	0.15-1.00	1.80-2.80	0.03-0.07	0.05-0.20	0.01-0.10	0.15-1.00	0.03max	0.002max

Tabel 3. 3 Sifat Mekanik *Cast Iron FCD 450* (ASTM A536)

<i>Tensile Strength</i>	448 Mpa
<i>Yield Strength</i>	310 Mpa
<i>Elongation</i>	12 %
<i>Hardness</i>	160-210 HB

3.4.2 Filler

Filler yang digunakan pada penelitian kali ini diantaranya sebagai berikut:

- NiFe

Tabel 3. 4 Komposisi Kimia *Filler NiFe* (AWS A5.15)

C	Si	Mn	Ni	Al	Fe
1.04	0.71	0.23	45.3	0.01	Bal.

Tabel 3. 5 Sifat Mekanik *Filler NiFe* (AWS A5.15)

<i>Tensile Strength</i>	496 Mpa
<i>Elongation</i>	12%
<i>Hardness</i>	187 HB

- NiFe-1

Tabel 3. 6 Komposisi Kimia *Filler NiFe-1* (JIS Z3252)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Fe
0.05	0.12	0.67	0.003	0.001	56.91	Bal.



Tabel 3. 7 Sifat Mekanik *Filler* NiFe-1 (JIS Z3252)

<i>Tensile Strength</i>	396 Mpa
<i>Elongation</i>	48,3%
<i>Hardness</i>	147-208 HB

- NiFe-2

Tabel 3. 8 Komposisi Kimia *Filler* NiFe-2 (JIS Z3252)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Fe	Lain-lain
0.01	0.40	2.79	0.003	0.007	57.02	Bal.	1.0-3.0

Tabel 3. 9 Sifat Mekanik *Filler* NiFe-2 (JIS Z3252)

<i>Tensile Strength</i>	604 Mpa
<i>Elongation</i>	36,2%
<i>Hardness</i>	147-208 HB

3.5 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- Pada proses pengelasan
 1. Mesin Las MIG
 2. Oxyacetylene Gas Burner
 3. Thermogun
 4. Gerinda Kawat
 5. Gerinda Manual
- Pada proses PWHT
 1. Furnace
- Pada proses pengujian
 1. Mesin *Precision Cutting*
 2. Mesin *Grinding/Polishing*
 3. Kertas Amplas Grade 500, 1000, dan 1500
 4. *Autosol*
 5. Kain Bludru
 6. Larutan Etsa
 7. Mikroskop Optik



8. Mesin Uji Kekerasan *Vickers*
9. Mesin Uji Tarik

3.6 Tahap Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini antara lain:

3.6.1 Persiapan

Pada tahap persiapan ini, hal-hal yang dilakukan diantaranya:

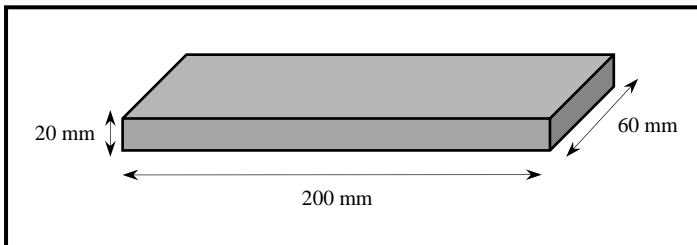
- Studi literatur
Pencarian referensi ilmiah melalui *handbook*, standar internasional, jurnal penelitian, dan sumber lain yang menunjang informasi yang ada.
- Pengambilan sampel
Sampel yang digunakan yaitu *part axle hub* yang mengalami *crack* dengan umur operasi 20.000-30.000 jam.
- Pembuatan parameter pengelasan
Untuk mendapatkan kualitas hasil pengelasan yang baik, maka di perlukan parameter yang sesuai, Parameter pengelasan mengacu pada AWS D11.2. Adapun parameter yang digunakan saat pengelasan seperti tabel berikut:

Tabel 3. 10 Parameter Las

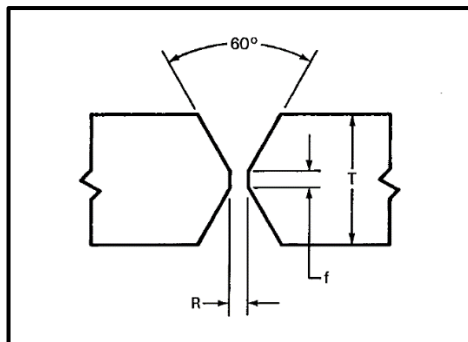
Proses	GMAW
Polaritas	DCEP
Arus	150 A
Tegangan	26 V
Kecepatan Las	6,5 mm/s
Gas	Argon 100%
Diameter Elektroda	1,2 mm
Preheat	250 °C
PWHT	595 °C, t=1 Jam
Desain Sambungan	Double-V <i>groove</i>
Posisi Pengelasan	1G



- Preparasi sampel spesimen
Sampel spesimen diambil dari potongan part *axle hub* HD785-7 dengan ukuran 200 mm x 60 mm x 20 mm yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 sebanyak tiga buah yang telah dilakukan preparasi permukaan dengan menggunakan gerinda kawat untuk menghilangkan korosi, cat, dan kerak pada permukaan *axle hub*, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan *groove* alur *welding* menggunakan *manual grinding*.



Gambar 3. 3 Dimensi Spesimen



Gambar 3. 4 Rancangan Desain Sambungan Las

$T = 20 \text{ mm}$

$f = 1,5 \text{ mm}$

$R = 1 \text{ mm}$

3.6.2 Pengelasan

Kegiatan yang dilakukan pada tahap pengelasan ini diantaranya:

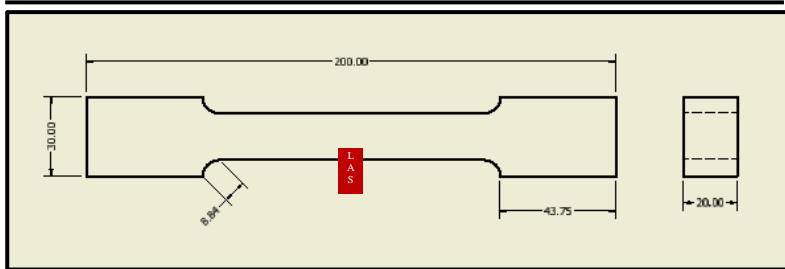
- Pengaturan mesin las MIG sesuai parameter pada Tabel 3.10.
- Melakukan preheat dengan menggunakan Oxyacetylene Gas Burner hingga mencapai temperature 250 °C.
- Pengelasan pada masing-masing spesimen yang berdasarkan pada 3 jenis filler.



Gambar 3. 5 Mesin Las MIG

3.6.3 Pembuatan Spesimen Tarik dan PWHT

- Setelah dilakukan pengelasan pada spesimen uji, spesimen di *machining* menjadi bentuk spesimen uji tarik. Adapun skema bentuk spesimen uji tarik yang akan di *machining* ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Skema Bentuk Spesimen Uji Tarik

- Setelah itu dilakukan proses PWHT menggunakan *furnace* untuk spesimen PWHT dengan metode *stress relieve* pada temperatur 595 °C dengan *holding time* 60 menit, lalu pendinginan *furnace* sampai 350 °C, kemudian pendinginan udara sampai temperatur ruangan.



Gambar 3. 7 *Furnace*



Gambar 3. 8 Bentuk Spesimen Uji Tarik Setelah di *Machining* dan PWHT

3.6.3 Pengujian Spesimen

Pengujian spesimen yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya:

- Pengujian Visual

Pada pengujian visual ini digunakan untuk mengecek adanya defect yang terjadi pada permukaan lasan seperti *undercut*, *bead porosity*, *surface crack*, dan *burnthrough* pada permukaan las, yang dilakukan secara visual menggunakan mata.

- Pengujian Makroskopik

Pengujian makroskopik dilakukan pada sampel spesimen untuk mendapatkan suatu gambaran berupa daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan *weld metal* akibat dari proses pengelasan yang dilakukan. Selain itu untuk mengidentifikasi cacat yang ada pada hasil lasan spesimen uji seperti *lack of fusion* ataupun *lack of penetration*. Adapun tahapan yang dilakukan pada pengujian makroskopik ini yaitu:



1. Pemotongan spesimen (*crosscut*) secara melintang pada area lasan.
 2. *Mounting* spesimen pada resin
 3. *Grinding* menggunakan kertas amplas grade 500, 1000, dan 1500.
 4. Proses *polishing* menggunakan *polisher machine* dengan media kain bludru dan *metal polish*.
 5. Proses makro etsa menggunakan larutan nital (5 ml HNO_3 + 95 ml Alkohol)
 6. Pengamatan bagian lasan pada mikroskop optik dengan perbesaran rendah (berkisar 5 kali hingga 8 kali perbesaran)
- Pengujian Mikroskopik
Pada pengujian struktur mikro ini bertujuan untuk mengetahui fasa, bentuk dan ukuran struktur mikro yang terjadi pada daerah *base metal*, *heat affected zone* dan *weld metal*. Selain itu juga untuk memprediksi transformasi yang terjadi selama proses pengelasan ataupun perlakuan panas. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material FTI-ITS dengan menggunakan mikroskop optik *Olympus BX51M-RF* dan menggunakan standar ASTM E3 dengan tahapan sebagai berikut ini:
 1. Pemotongan spesimen (*crosscut*) secara melintang pada area lasan, menjadi bagian yang lebih kecil,
 2. *Mounting* spesimen menggunakan resin
 3. *Grinding* menggunakan kertas amplas grade 500, 1000, dan 1500
 4. Proses *polishing* menggunakan *polisher machine* dengan media kain bludru dan *autosol*.
 5. *Etching* dengan larutan nital (5 ml HNO_3 + 95 ml Alkohol) untuk daerah *base metal*, dan *heat affected zone*. Pada daerah *weld metal*



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
FTI - ITS

menggunakan larutan besi (III) klorida dan asam klorida ($5\text{g FeCl}_3 + 50\text{HCl} + 100\text{ ml air}$).

6. Pengamatan melalui mikroskop optik dengan perbesaran 50x, 100x, 200x, 400x dan 500x



Gambar 3. 9 Mikroskop Optik *Olympus BX51M-RF*

- **Pengujian Kekerasan**
Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan di daerah *base metal*, *heat affected zone* (HAZ), dan *weld metal* yang terkena dampak proses pengelasan. Standar pengujian kekerasan yang digunakan adalah dengan metode *vickers* yang berdasarkan ASTM E92. Dalam pengujian ini beban yang akan digunakan adalah sebesar 100 kg dan waktu lamanya indentasi 10 detik. Pengujian kekerasan ini dilakukan 5 kali indentasi pada daerah *base*, *HAZ*, dan *weld*. Alat yang digunakan adalah *Universal Hardness Tester HBRV-187.5A* seperti pada Gambar 3.8



Gambar 3. 10 Mesin Universal *Hardness Tester* HBRV - 187.5A

- **Pengujian Tarik**
Pengujian tarik adalah pengujian yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Selain itu pengujian tarik ini dilakukan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Dilakukan berdasarkan standar JIS Z 2201 No.5 (a) di Lab. Metalurgi Jurusan Teknik Maerial dan Metalurgi ITS. Spesimen disiapkan sesuai dengan standar uji yang digunakan. Memasangkan spesimen pada alat pengujian dan pastikan spesimen terkunci pada grip. Memberikan beban secara terus menerus sampai spesimen mengalami patah. Grafik uji tarik akan dihasilkan setelah pengujian selesai dilakukan. Pada Gambar 3.9 menjelaskan tentang mesin uji tarik dan spesimen yang berada pada alat uji tersebut.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
FTI - ITS



Gambar 3. 11 Mesin Uji Tarik

3.7 Jadwal Penelitian

Jadwal kegiatan penelitian tugas akhir selama satu semester sebagai berikut:

Tabel 3. 11 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																				
Preparasi Spesimen																				
Proses Pengelasan																				
Pengujian Sampel																				
Analisis Data																				
Penyusunan Laporan																				
Asistensi Laporan																				



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

4.1.1 Pengujian Visual

Setelah dilakukan pengelasan pada spesimen uji dengan parameter yang sudah ditentukan. Dilakukan pengamatan secara visual menggunakan mata untuk melihat kualitas lasan dan mengidentifikasi cacat las seperti *undercut*, *bead porosity*, *surface crack*, dan *burnthrough*. Berikut hasil pengamatan visual pada hasil lasan spesimen uji.



Gambar 4. 1 Hasil Las Spesimen dengan *Filler* NiFe



Gambar 4. 2 Hasil Las Spesimen dengan *Filler* NiFe-1



Gambar 4. 3 Hasil Las Spesimen dengan *Filler* NiFe-2

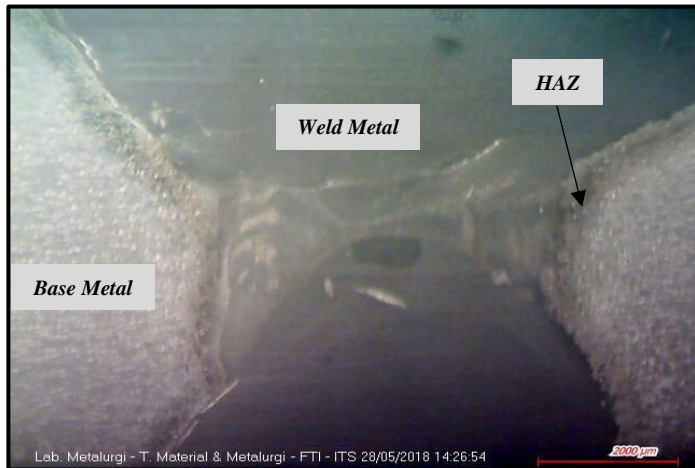
Dari hasil pengamatan visual pada masing-masing spesimen uji tidak ditemukan adanya *surface defect* pada hasil lasan, terlihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.2 Pengujian Makroskopik

Setelah dilakukan pengamatan secara visual dan spesimen sudah menjadi bentuk spesimen tarik, terlihat pada Gambar 4.4 – 4.9 dilakukan pengamatan secara makroskopik untuk mengidentifikasi area lasan berupa daerah *weld metal* dan *heat affected zone* (HAZ) akibat dari proses pengelasan yang dilakukan. Selain itu untuk mengidentifikasi *defect* yang ada pada hasil lasan spesimen uji seperti *internal porosity*, *lack of fusion* ataupun *lack of penetration*. Spesimen uji pada bagian hasil lasan dihaluskan permukaannya dengan kertas amplas grade 500-2000, lalu di polish menggunakan *autosol* sampai permukaannya mengkilap. Permukaan itu kemudian di etsa dengan etsa nital untuk memperlihatkan daerah yang terjadi hasil proses las tersebut. Pengamatan secara makro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran rendah yang berkisar 2 - 8 kali. Berikut adalah gambar hasil pengujian makroskopik.

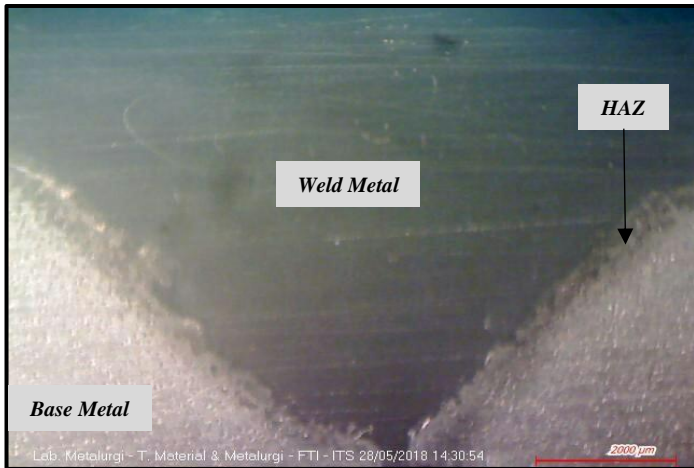
- NiFe Non-PWHT



Gambar 4. 4 Gambar Makroskopik Spesimen Non-PWHT dengan *Filler* NiFe

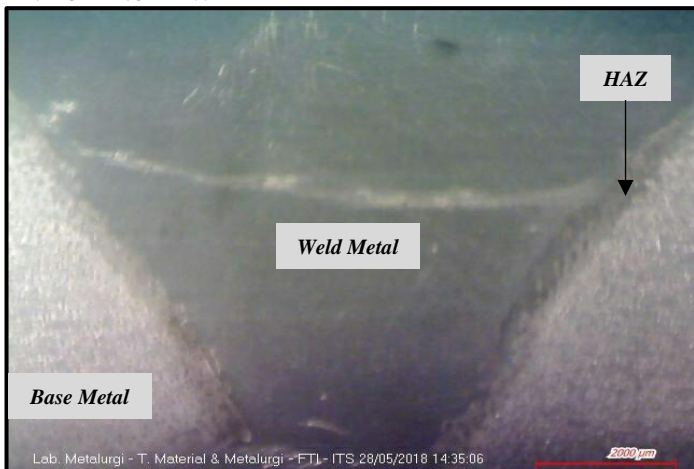


- NiFe-1 Non-PWHT



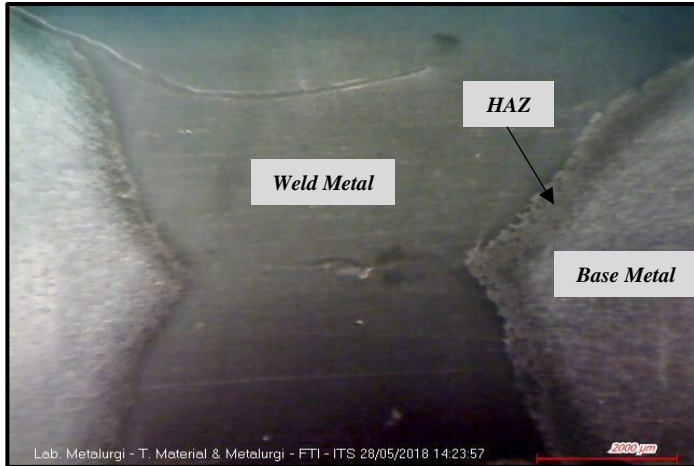
Gambar 4. 5 Gambar Makroskopik Spesimen Non-PWHT dengan *Filler* NiFe-1

- NiFe-2 Non-PWHT



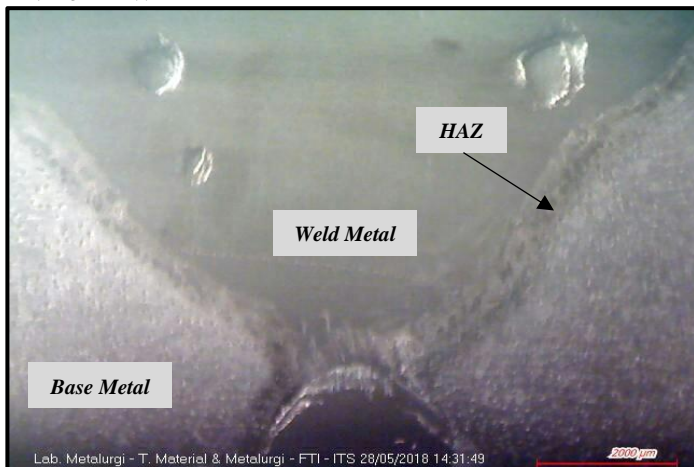
Gambar 4. 6 Gambar Makroskopik Spesimen Non-PWHT dengan *Filler* NiFe-2

- NiFe PWHT



Gambar 4. 7 Gambar Makroskopik Spesimen PWHT dengan *Filler* NiFe

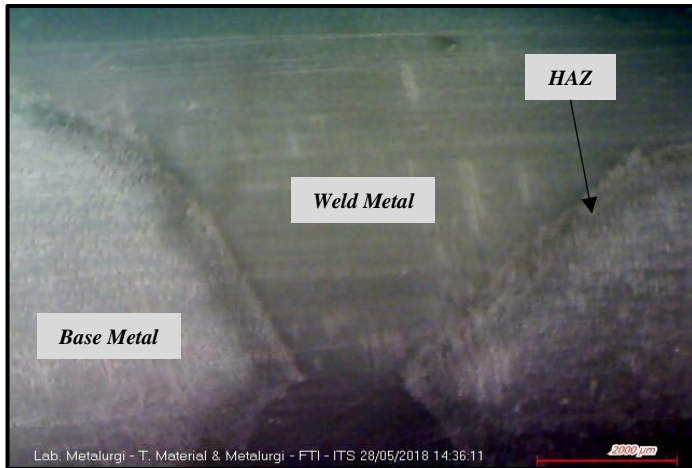
- NiFe-1 PWHT



Gambar 4. 8 Gambar Makroskopik Spesimen PWHT dengan *Filler* NiFe-1



- NiFe-2 PWHT



Gambar 4. 9 Gambar Makroskopik Spesimen PWHT dengan *Filler* NiFe-2

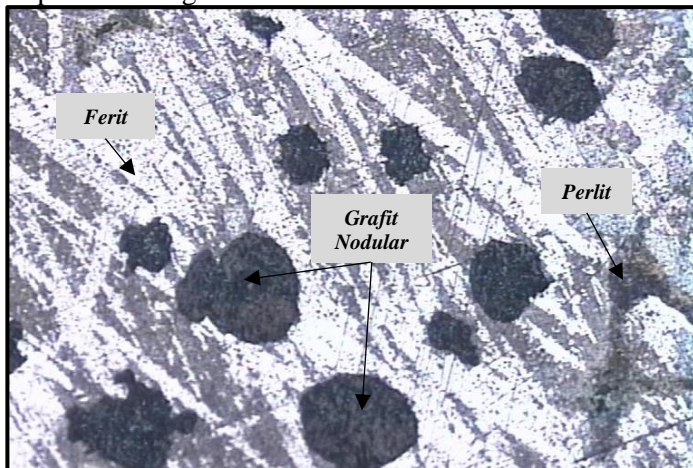
Dari hasil pengujian makroskopik pada seluruh spesimen tidak ditemukan adanya daerah yang tidak fusi sempurna pada daerah *weld metal* dan *base metal*. Dan pada pengujian ini didapatkan visualisasi daerah hasil proses pengelasan yang terdiri dari *weld metal*, HAZ, dan *base metal*, dimana pada seluruh spesimen tidak ditemukan adanya *internal defect* seperti *internal porosity*, *lack of fusion*, *lack of penetration* maupun *internal crack*. Gambar 4.6, Gambar 4.7, dan Gambar 4.8 menunjukkan adanya indikasi takrelevan pada spesimen NiFe-2 non-PWHT, NiFe PWHT, dan NiFe-1 PWHT. Setelah itu dilakukan pengujian lebih mendalam untuk mengetahui struktur mikro yang ada pada masing-masing spesimen.

4.1.3 Pengujian Mikroskopik

Pengujian mikroskopik dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk pada hasil lasan spesimen uji dengan *filler* yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan perbesaran 100 –

500 kali menggunakan mikroskop optik. Untuk melakukan pengujian mikroskopik, maka diperlukan proses metalografi. Adapun tahapan yang harus dilakukan dalam proses metalografi yaitu *mounting*, *grinding*, *polishing*, dan *etching*. Etsa yang digunakan dalam pengujian ini yaitu nital. Berikut adalah gambar dari hasil pengujian mikroskopik.

- Spesimen Original

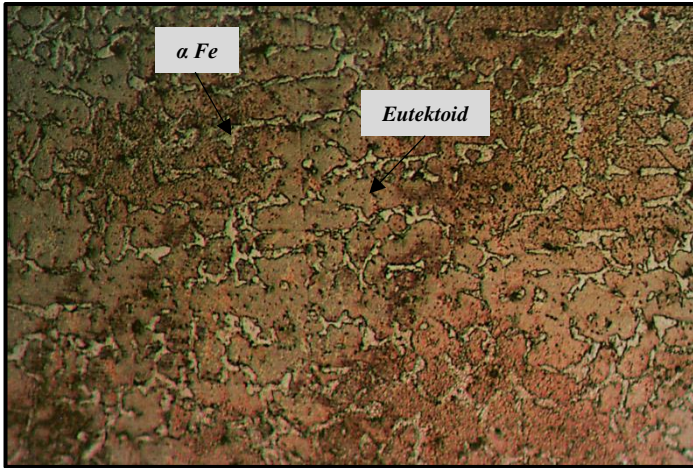


Gambar 4. 10 Struktur Mikro *Base Metal Material Original*. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

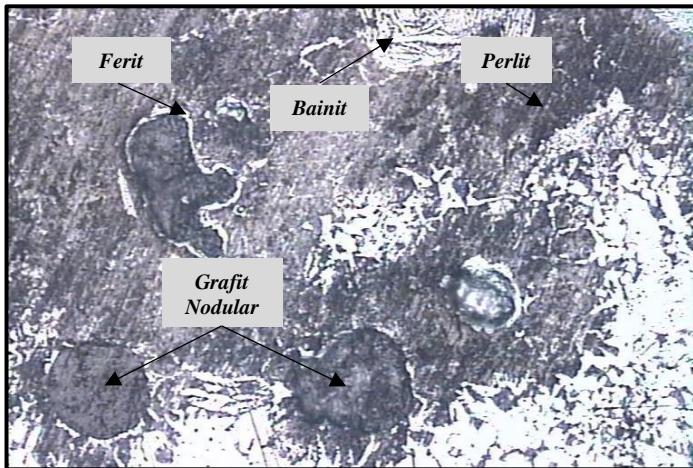
Gambar 4.10 menunjukkan hasil pengujian mikroskopik pada spesimen *original cast iron* FCD 450 komponen *axle hub* HD785-7, menunjukkan struktur mikro perlit, dengan matriks ferit, dan grafit berupa nodular. Dimana daerah berwarna gelap menunjukkan fasa perlit dan daerah berwarna terang menunjukkan fasa ferit (Radzikowska, 2004), sedangkan grafit berbentuk nodular disebabkan karena penambahan unsur magnesium (Setyo, 2008).



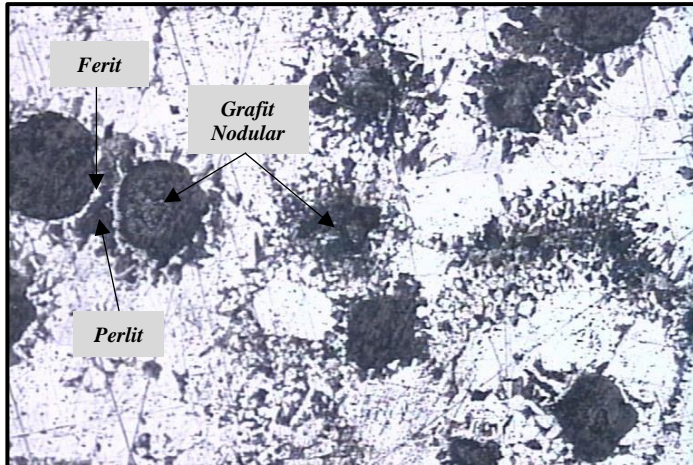
- NiFe Non-PWHT



Gambar 4. 11 Struktur Mikro *Weld Metal* dengan *Filler* NiFe Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x



Gambar 4. 12 Struktur Mikro HAZ dengan *Filler* NiFe Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

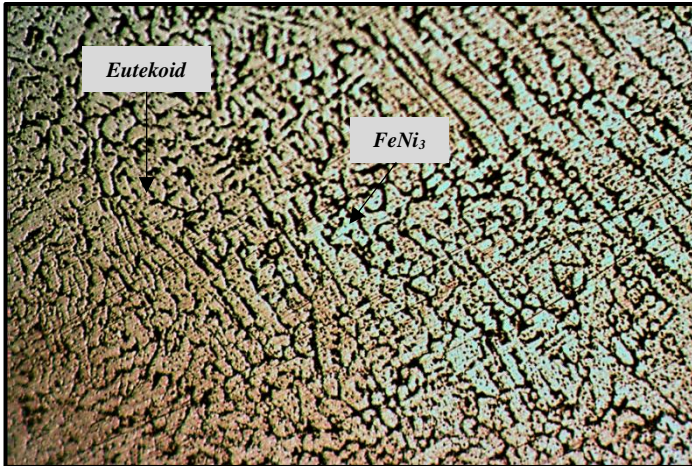


Gambar 4. 13 Struktur Mikro *Base Metal* dengan *Filler* NiFe Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

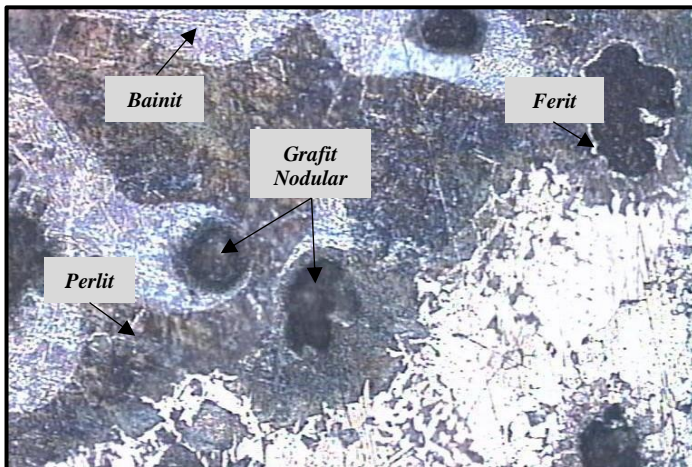
Pada spesimen non-PWHT dengan *filler* NiFe, Gambar 4.11 menunjukkan struktur mikro pada daerah *weld metal* yaitu α Fe dan eutektoid ($\alpha + \text{FeNi}_3$). Pada Gambar 4.12 menunjukkan daerah HAZ, struktur mikro yang diketahui yaitu ferit, perlit, bainit, dan grafit nodular. Dan pada Gambar 4.13 menunjukkan daerah *base metal*, ditemukan struktur ferit, perlit, dan grafit nodular.



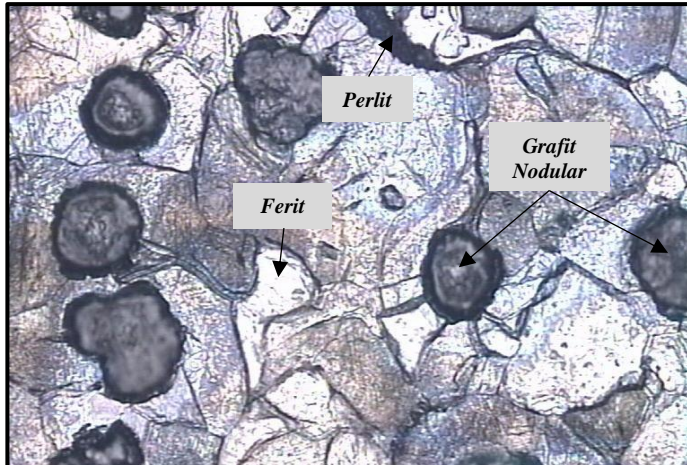
- NiFe-1 Non-PWHT



Gambar 4. 14 Struktur Mikro *Weld Metal* dengan *Filler* NiFe-1 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x



Gambar 4. 15 Struktur Mikro HAZ dengan *Filler* NiFe-1 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

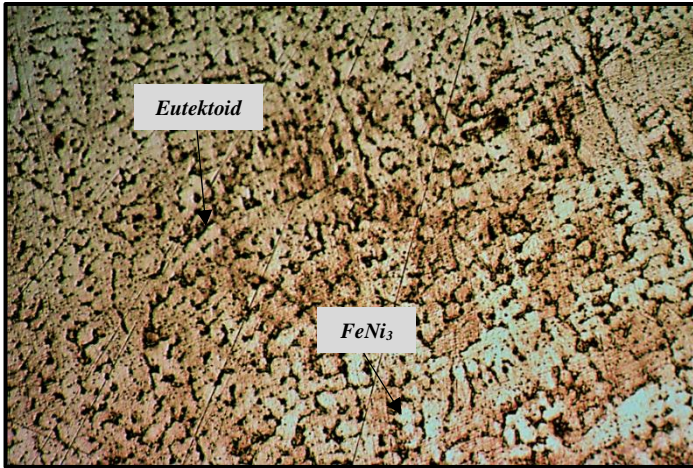


Gambar 4. 16 Struktur Mikro *Base Metal* dengan *Filler* NiFe-1 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

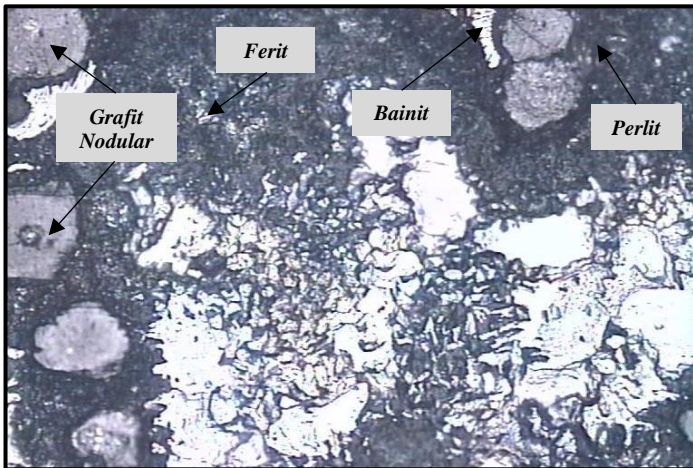
Pada spesimen non-PWHT dengan *filler* NiFe-1, Gambar 4.14 menunjukkan struktur mikro pada daerah *weld metal* yaitu FeNi_3 dan eutektoid ($\alpha + \text{FeNi}_3$). Pada Gambar 4.15 menunjukkan daerah HAZ, struktur mikro yang diketahui yaitu ferit, perlit, bainit, dan grafit nodular. Dan pada Gambar 4.16 menunjukkan daerah *base metal*, ditemukan struktur ferit, perlit, dan grafit nodular.



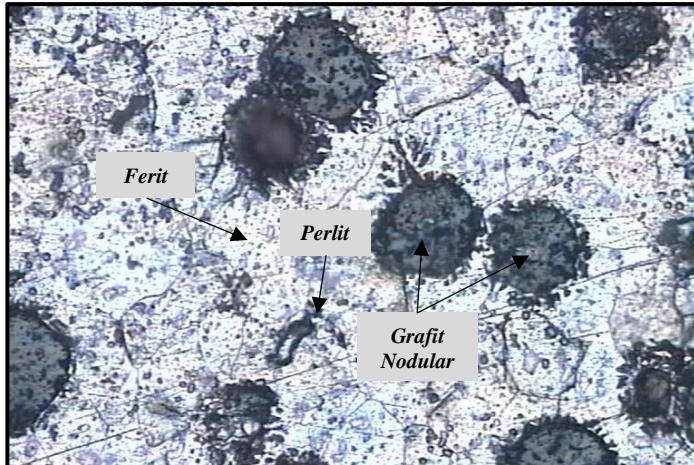
- NiFe-2 Non-PWHT



Gambar 4. 17 Struktur Mikro *Weld Metal* dengan *Filler* NiFe-2 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x



Gambar 4. 18 Struktur Mikro HAZ dengan *Filler* NiFe-2 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

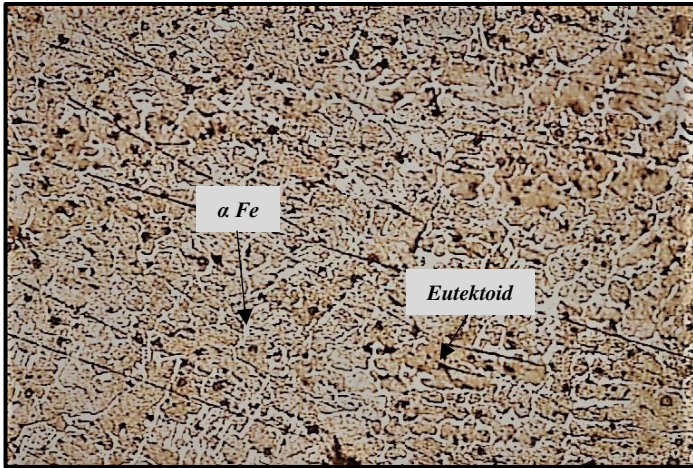


Gambar 4. 19 Struktur Mikro *Base Metal* dengan *Filler* NiFe-2 Non-PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

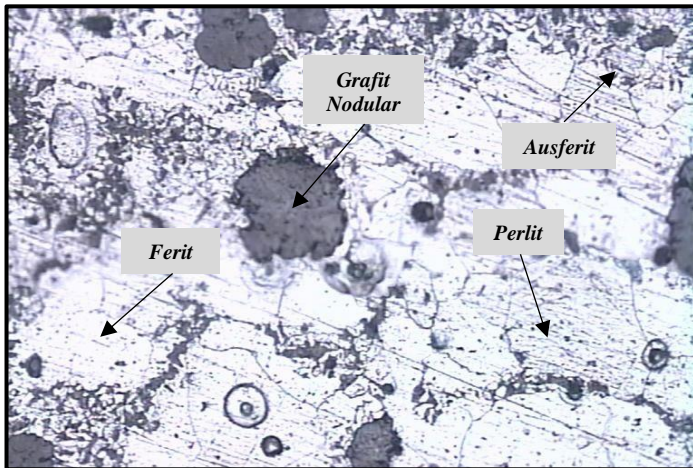
Pada spesimen non-PWHT dengan *filler* NiFe-2, Gambar 4.17 menunjukkan struktur mikro pada daerah *weld metal* yaitu FeNi_3 dan eutektoid ($\alpha + \text{FeNi}_3$). Pada Gambar 4.18 menunjukkan daerah HAZ, struktur mikro yang diketahui yaitu ferit, perlit, bainit, dan grafit nodular. Dan pada Gambar 4.19 menunjukkan daerah *base metal*, ditemukan struktur ferit, perlit, dan grafit nodular.



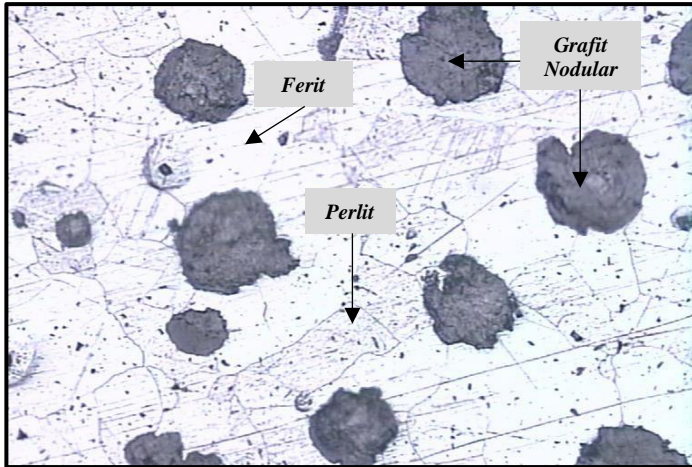
- NiFe PWHT



Gambar 4. 20 Struktur Mikro *Weld Metal* dengan *Filler* NiFe PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x



Gambar 4. 21 Struktur Mikro HAZ dengan *Filler* NiFe PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

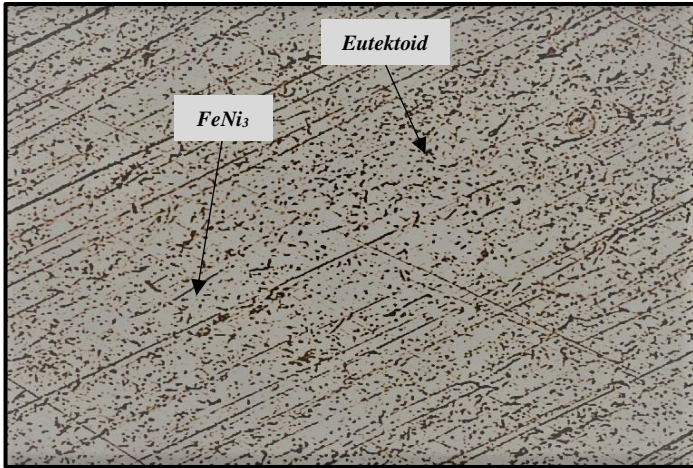


Gambar 4. 22 Struktur Mikro *Base Metal* dengan *Filler* NiFe PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

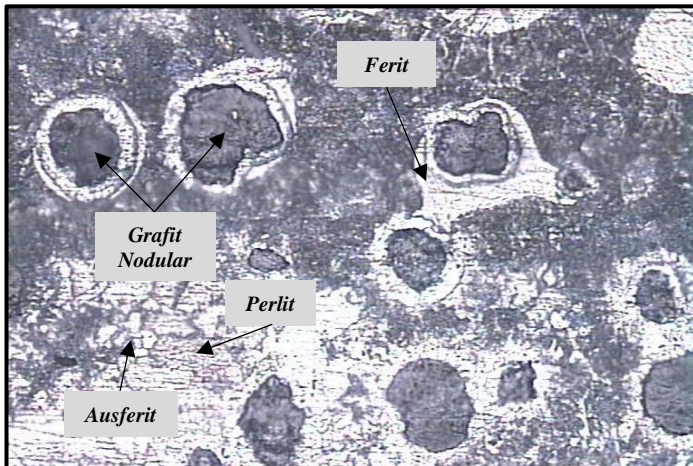
Pada spesimen PWHT dengan *filler* NiFe, Gambar 4.20 menunjukkan struktur mikro pada daerah *weld metal* yaitu α Fe dan eutektoid (α +FeNi₃). Pada Gambar 4.21 menunjukkan daerah HAZ, struktur mikro yang diketahui yaitu ferit, perlit, ausferit, dan grafit nodular. Dan pada Gambar 4.22 menunjukkan daerah *base metal*, ditemukan struktur ferit, perlit, dan grafit nodular.



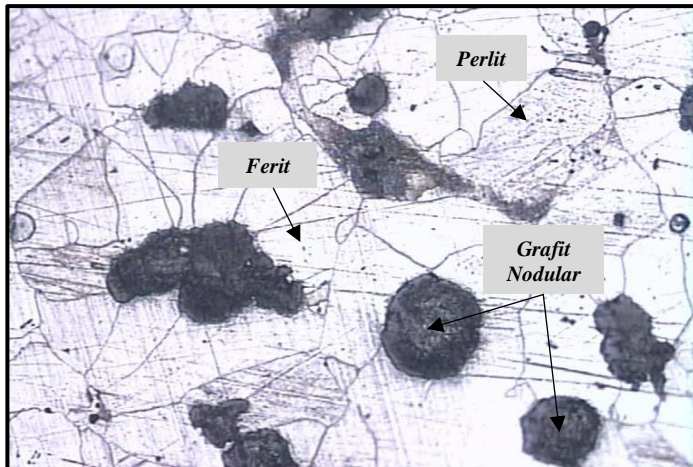
- NiFe-1 PWHT



Gambar 4. 23 Struktur Mikro *Weld Metal* dengan *Filler* NiFe-1 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x



Gambar 4. 24 Struktur Mikro HAZ dengan *Filler* NiFe-1 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

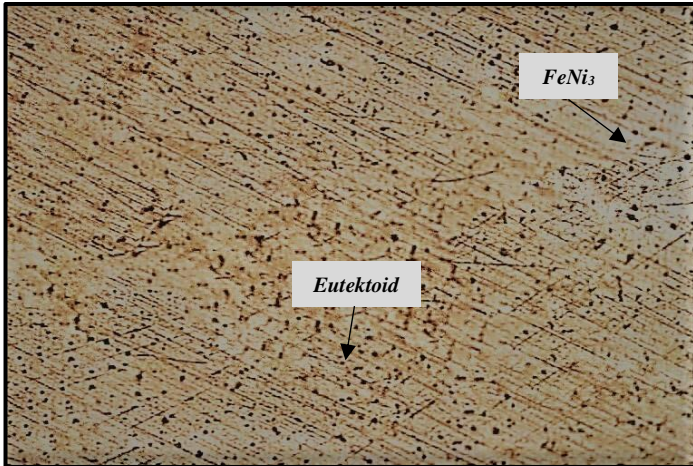


Gambar 4. 25 Struktur Mikro *Base Metal* dengan *Filler* NiFe-1 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

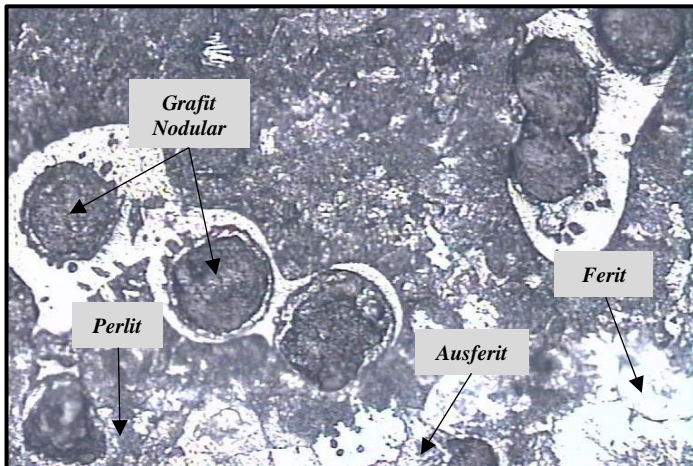
Pada spesimen PWHT dengan *filler* NiFe-1, Gambar 4.23 menunjukkan struktur mikro pada daerah *weld metal* yaitu FeNi_3 dan eutektoid ($\alpha + \text{FeNi}_3$). Pada Gambar 4.24 menunjukkan daerah HAZ, struktur mikro yang diketahui yaitu ferit, perlit, ausferit, dan grafit nodular. Dan pada Gambar 4.25 menunjukkan daerah *base metal*, ditemukan struktur ferit, perlit, dan grafit nodular.



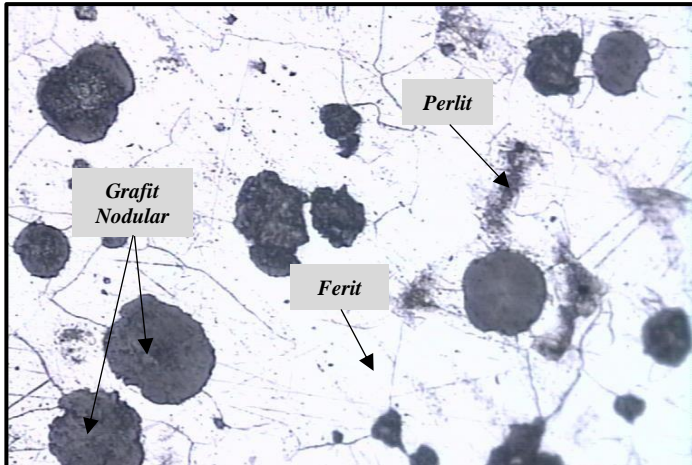
- NiFe-2 PWHT



Gambar 4. 26 Struktur Mikro *Weld Metal* dengan *Filler* NiFe-2 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x



Gambar 4. 27 Struktur Mikro HAZ dengan *Filler* NiFe-2 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x



Gambar 4. 28 Struktur Mikro *Base Metal* dengan *Filler* NiFe-2 PWHT. Etsa Nital 4%. Perbesaran 200x

Pada spesimen PWHT dengan *filler* NiFe-2, Gambar 4.26 menunjukkan struktur mikro pada daerah *weld metal* yaitu FeNi_3 dan eutektoid ($\alpha + \text{FeNi}_3$). Pada Gambar 4.27 menunjukkan daerah HAZ, struktur mikro yang diketahui yaitu ferit, perlit, ausferit, dan grafit nodular. Dan pada Gambar 4.28 menunjukkan daerah *base metal*, ditemukan struktur ferit, perlit, dan grafit nodular.

Tabel 4. 1 Komparasi Fasa

Filler	Struktur Mikro					
	Spesimen Non-PWHT			Spesimen PWHT		
	Weld	HAZ	Base	Weld	HAZ	Base
NiFe	α Fe dan E	F, P, B, G	F, P, G	α Fe dan E	F, P, A, G	F, P, G
NiFe-1	FeNi_3 dan E	F, P, B, G	F, P, G	FeNi_3 dan E	F, P, A, G	F, P, G



NiFe-2	FeNi ₃ dan E	F, P, B, G	F, P, G	FeNi ₃ dan E	F, P, A, G	F, P, G
--------	----------------------------	---------------	------------	----------------------------	---------------	------------

F, ferit; P, perlit; B, bainit; A, ausferit; G, grafit; E, eutektoid

Didapatkan komparasi fasa pada masing-masing spesimen uji dengan variasi *filler* dan perlakuan berbeda pada Tabel 4.1. Struktur mikro yang didapatkan pada daerah *weld metal* yaitu α Fe dan eutektoid untuk *filler* NiFe, dan pada *filler* NiFe-1 dan NiFe-2 adalah FeNi₃ dan eutektoid. Sedangkan pada daerah HAZ, maupun *base metal* sebelum dilakukan proses PWHT, fasa yang didapatkan tidak ada perbedaan pada masing-masing *filler*. Setelah diberi perlakuan PWHT, fasa pada masing-masing spesimen uji pada daerah *weld metal* dan *base metal* tetap sama seperti spesimen tanpa perlakuan PWHT, tetapi semua fasa bainit berubah menjadi ausferit pada daerah HAZ. Distribusi fasa setelah proses PWHT lebih seragam dan teratur pada daerah *weld metal*.

4.1.4 Pengujian Kekerasan

Dilakukan pengujian kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* dengan indentasi sebanyak 5 kali. Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *vickers* dengan mengacu pada standar ASTM E10. Berikut adalah hasil pengujian kekerasan pada masing-masing spesimen.

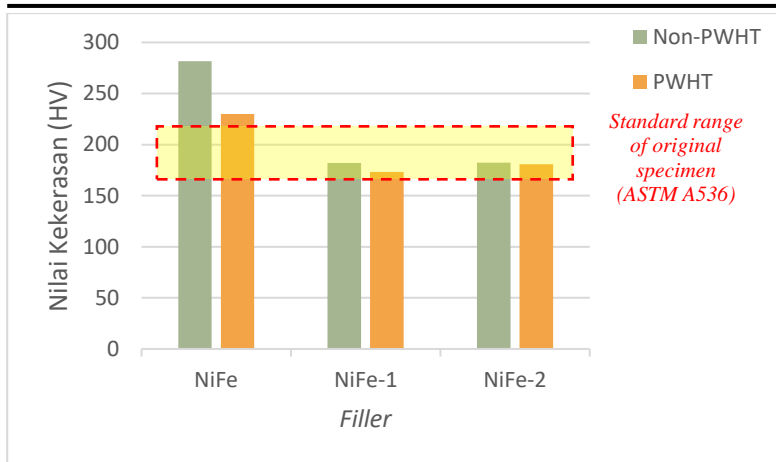
Tabel 4. 2 Distribusi Kekerasan Material Original

Material	Nilai Kekerasan (HV)
FCD 450 (Komponen <i>Axle Hub</i>)	170,2
	183
	182
	214
	192
Rata-rata	188,24

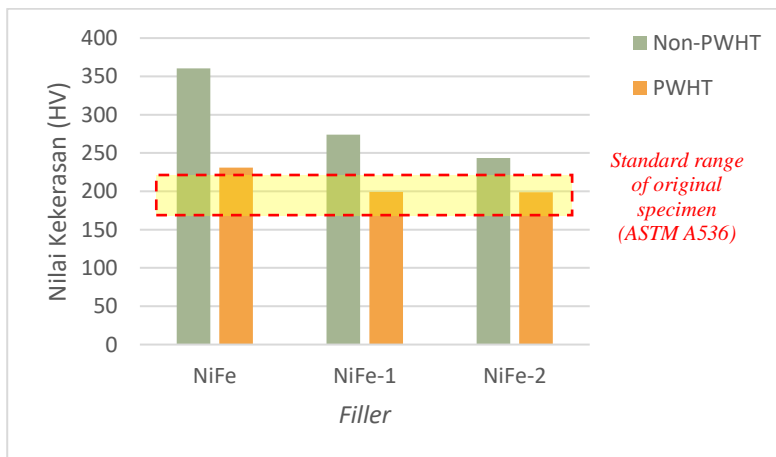


Tabel 4. 3 Distribusi Kekerasan Masing-Masing Spesimen Uji

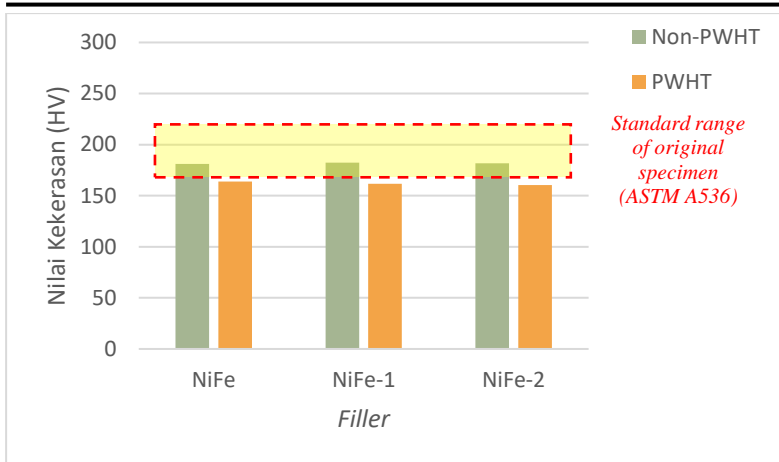
Filler	Nilai Kekerasan (HV)					
	Spesimen Non-PWHT			Spesimen PWHT		
	Weld	HAZ	Base	Weld	HAZ	Base
NiFe	292,2	370,5	180,4	222,2	222,5	166,4
	252,2	391	177	247,3	241,4	164,7
	292,5	322,5	183,2	222	255,7	159,3
	296,7	359,9	173,7	224,7	217,3	157,2
	275,3	358	190,6	233,1	216,8	171,8
Rata-rata	281,78	360,38	180,98	229,86	230,74	163,88
NiFe-1	175	274,7	186,8	177	198,2	157,7
	182,5	275,6	178,2	175,1	197,5	159,2
	178,7	279,1	176,8	167,1	206	159,2
	185,2	288,3	183,6	172,2	201,2	164,4
	188,2	251,8	187,1	174,6	192,6	168,3
Rata-rata	181,92	273,9	182,5	173,2	199,1	161,76
NiFe-2	182,4	224,7	185,8	172,2	206,2	160,8
	184,5	257,5	173,9	164,4	196,4	153,9
	187	249,8	190,2	192,8	191,1	155,2
	180,5	212,5	184,6	195,3	197,6	167,1
	177,3	272,8	174,6	179,1	202	165,5
Rata-rata	182,34	243,46	181,82	180,76	198,66	160,5



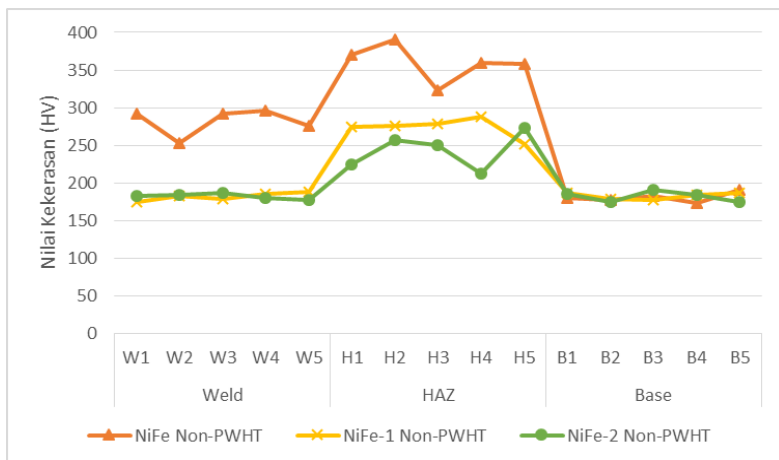
Gambar 4. 29 Diagram Rata-rata Nilai Kekerasan Weld Metal



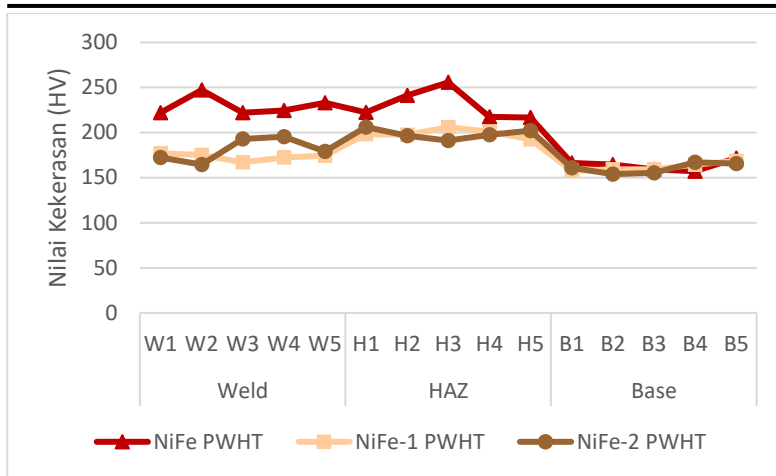
Gambar 4. 30 Diagram Rata-rata Nilai Kekerasan HAZ



Gambar 4. 31 Diagram Rata-rata Nilai Kekerasan *Base Metal*



Gambar 4. 32 Grafik Distribusi Nilai Kekerasan Spesimen Non-PWHT



Gambar 4. 33 Grafik Distribusi Nilai Kekerasan Spesimen PWHT

Dari Tabel 4.3 didapatkan hasil uji kekerasan pada permukaan setiap daerah spesimen uji sebelum dan setelah di PWHT. Gambar 4.30 menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi pada masing-masing spesimen terdapat pada daerah HAZ sebelum dilakukan proses PWHT. Berdasarkan Gambar 4.32 dan 4.33, setelah dilakukan proses PWHT semua spesimen pada setiap daerah cenderung mengalami penurunan kekerasan.

4.1.5 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) pada hasil sambungan las dengan variasi *filler* yang berbeda-beda dengan menggunakan metode PWHT ataupun tidak. Standar spesimen yang digunakan pada pengujian ini adalah berbentuk plat sesuai standar ASTM E8M. Pada pengujian tarik, spesimen akan diberikan beban terus-menerus hingga spesimen mengalami *fracture* atau patah. Nilai yang didapatkan dari hasil pengujian tarik material lasan *cast iron* FCD 450 dengan *filler* berbasis nikel dapat dilihat pada Tabel 4.4.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
FTI - ITS



Gambar 4. 34 Pola Patahan Hasil Pengujian Tarik Spesimen Non-PWHT. (A) NiFe, (B) NiFe-1, (C) NiFe-2



Gambar 4. 35 Pola Patahan Hasil Pengujian Tarik Spesimen PWHT. (A) NiFe, (B) NiFe-1, (C) NiFe-2

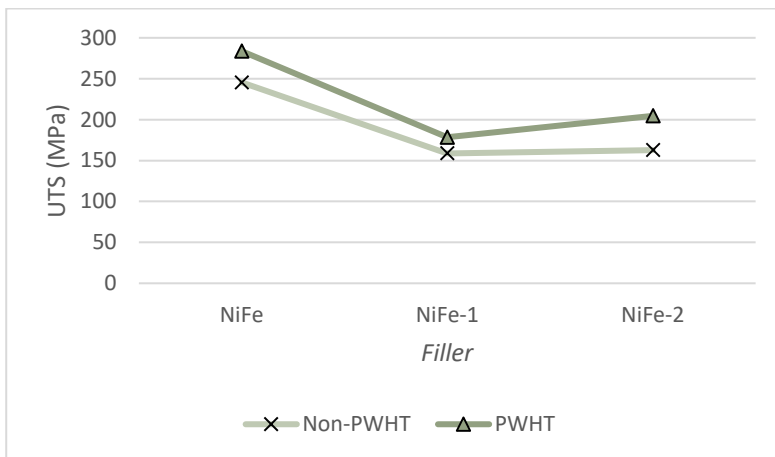
Gambar 4.34 merupakan hasil pengujian tarik pada spesimen non-PWHT. Pada spesimen dengan *filler* NiFe tanpa perlakuan PWHT mengalami patah pada daerah HAZ. Sedangkan



dua spesimen lainnya mengalami patah pada daerah *weld metal*. Gambar 4.35 merupakan hasil pengujian tarik pada spesimen PWHT. Pada spesimen dengan *filler* NiFe dengan perlakuan PWHT mengalami patah pada dua daerah, yaitu *weld metal* dan HAZ. Sedangkan dua spesimen lainnya juga mengalami patah pada daerah *weld metal* sama seperti spesimen tanpa perlakuan PWHT.

Tabel 4. 4 Nilai UTS Hasil Lasan Spesimen Uji

Filler	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	
	Spesimen Non-PWHT	Spesimen PWHT
NiFe	245,5	283,7
NiFe-1	158,7	178,5
NiFe-2	162,9	204,5



Gambar 4. 36 Diagram Nilai UTS Hasil Lasan Spesimen Uji

Berdasarkan Gambar 4.36, nilai UTS spesimen uji tanpa perlakuan PWHT pada *filler* NiFe sebesar 245,5 MPa, *filler* NiFe-1 sebesar 158,7 MPa, dan *filler* NiFe-2 sebesar 162,9 MPa. Sedangkan dengan perlakuan PWHT spesimen uji mengalami peningkatan nilai UTS menjadi 283,7 MPa pada *filler* NiFe, 178,5 MPa pada *filler* NiFe-1, dan 204,5 MPa pada *filler* NiFe-2. Proses

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



PWHT yang dilakukan pada masing-masing spesimen dengan variasi *filler* yang berbeda menunjukkan tren peningkatan nilai UTS. Peningkatan nilai UTS terbesar ada pada spesimen dengan *filler* NiFe-2.

4.2 Pembahasan

Axle hub pada unit alat berat HD785-7 dengan material *ductile cast iron* merupakan salah satu bagian dari komponen yang terdapat pada diferensial yang berfungsi sebagai penghubung antara roda dengan *shaft* sekaligus sebagai *case* atau rumah dari komponen lain yang berada didalamnya seperti *gear* dan *bearing*. Komponen ini merupakan komponen dinamis yang mengalami tegangan tarik saat digunakan. Tingginya jam kerja yang dilakukan dari setiap komponen ini tentunya menyebabkan berkurangnya umur pakai dan bahkan kerusakan pada komponen yang bisa terjadi karena faktor *lifetime* atau beban berlebih. Dengan adanya kedua faktor tersebut, maka seiring dengan lamanya waktu operasi, akan menimbulkan kelelahan komponen material tersebut, yang teridentifikasi sebagai *crack*. Kegagalan ini biasanya terjadi pada material yang mengalami regangan berulang atau berfluktuasi pada nominal tegangan dibawah *yield strength* material. Kelelahan dapat berujung *crack* dan menyebabkan patah setelah jumlah fluktuasi yang cukup. Kegagalan lelah disebabkan oleh aksi simultan tegangan siklik, tegangan tarik, dan regangan plastik. Jika salah satu dari ketiganya tidak ada, retakan fatik tidak akan memulai dan menyebar (ASM vol. 19, 1996). Dari kasus kegagalan tersebut, serta analisis dari beban operasi yang terjadi, maka proses *repairing* yang digunakan yaitu dengan metode pengelasan. Material yang digunakan pada komponen *axle hub* berupa *cast iron* yang memiliki *weldability* yang rendah karena tingginya kadar karbon dan jenis yang bermacam-macam, dan juga *range* yang lebar pada mikrostruktur dan komposisi kimia. Adapun pertimbangan umum dalam pengelasan *cast iron* yaitu *cooling rate*, *preheat*, PWHT, dan jenis *filler*. Oleh karena itu pemilihan parameter pengelasan sangat penting pada pengelasan *cast iron*.



Proses pengelasan *axle hub* pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode pengelasan MIG. Kelebihan metode MIG dalam pengelasan *axle hub* yaitu penetrasi lebih dalam, fleksibilitas dalam pengontrolan *heat input*, dan kemudahan dalam pemakaian. Parameter pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu arus sebesar 150 A, tegangan sebesar 26 V, menggunakan polaritas DCEP, dengan komposisi gas argon 100%, serta *preheat* dengan temperatur 250 °C. Pada penelitian ini juga menggunakan proses PWHT metode *stress relieve* pada temperatur 595 °C dengan waktu tahan 1 jam, pendinginan dengan *furnace* sampai temperature 350 °C, lalu pendinginan dengan udara sampai temperatur kamar. Pembentukan martensit dan karbida di *fusion zone* dapat dikendalikan melalui pengendalian laju pendinginan dengan *preheat* atau PWHT dan menggunakan *filler* berbasis nikel (Sutar, 2015). Pengelasan dilakukan pada sampel spesimen *axle hub* menggunakan tiga jenis *filler* yang berbeda yaitu NiFe, NiFe-1, NiFe-2 dengan perbedaan perlakuan non-PWHT dan PWHT.

Teknik pengelasan yang tidak tepat dapat menghasilkan fusi yang tidak sempurna, terutama di daerah-daerah akar atau di sepanjang permukaan alur las. Tidak cocoknya *heat input* serta desain sambungan yang salah bisa membuat kegagalan dalam prosesnya. Pada kasus ini jenis spesimen uji berupa *cast iron* yang memiliki kadar karbon yang tinggi, *cooling rate* yang tidak tepat bisa memperbesar potensi *crack* yang terjadi pada spesimen, dan juga kondisi material yang memiliki ketebalan mencapai 20 mm, diharuskan menggunakan *double V-groove* sebagai alur lasan. Proses pengelasan MIG mampu menghasilkan lasan berkualitas tinggi dibawah parameter yang tepat. Namun seperti halnya pengelasan lain, pontensi terjadi *defect* seperti *crack*, *porosity*, *incomplete fusion*, dan *incomplete joint penetration* bisa terjadi setelah pengelasan berakhir. Oleh karena itu pemilihan parameter pengelasan harus mendapatkan perhatian dan pengawasan yang sama dengan pelaksanaan pengelasan.

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian makroskopik, pengujian mikroskopik, pengujian kekerasan, dan pengujian tarik

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



pada hasil lasan. Setelah dilakukan pengelasan pada seluruh spesimen uji, kemudian dilakukan pengamatan secara visual pada permukaan hasil lasan, dan tidak ditemukan cacat las seperti *undercut*, *bead porosity*, *surface crack*, ataupun *burnthrough* (Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3). Penggunaan gas argon 100% memberikan pelindung yang lebih efektif untuk menghindari *porosity* dan *blowhole*, karena potensi ionisasi yang rendah, itu menunjukkan karakteristik inisiasi busur yang baik dan stabilitas busur yang sangat baik. Argon juga efektif dalam membantu pembersihan oksida dari permukaan spesimen. Karena kepadatannya yang lebih tinggi (Reichelt, 1980). Setelah itu spesimen hasil lasan di *machining* menjadi bentuk spesimen uji tarik. Lalu spesimen uji diberi perlakuan tanpa PWHT dan PWHT sebagai variabel lain dalam penelitian ini. Kemudian dilakukan pengujian makroskopik pada spesimen uji, didapatkan bahwa proses pengelasan dengan parameter pada Tabel 3.10 tidak menunjukkan adanya *internal defect* seperti *internal porosity*, *lack of fusion*, *lack of penetration* maupun *internal crack* pada hasil sambungan lasan spesimen uji (Gambar 4.5 – 4.9). Tetapi ditemukan adanya indikasi tak relevan pada spesimen NiFe-2 non-PWHT, NiFe PWHT, dan NiFe-1 PWHT yang terlihat pada Gambar 4.6, Gambar 4.7, dan Gambar 4.8. Indikasi takrelevan merupakan indikasi sebenarnya yang bukan diskontinuitas. Indikasi takrelevan dihasilkan dari fitur (geometri dan fasa) komponen material seperti celah (*gap*), ulir (*thread*), fasa (hasil perlakuan panas) (ASM vol. 17, 1989). Mengontrol *preheat* agar mencegah martensit terbentuk sangat penting untuk menghindari masalah yang terkait dengan grafit sekunder. Selama temperatur pemanasan awal, temperatur *interpass*, dan temperatur *postweld* dipertahankan di atas temperatur martensit start besi tuang, pembentukan martensit akan dapat dicegah (Voigt, 1983), tidak adanya fasa martensit dapat meminimalisir kemungkinan terjadinya *crack* pada hasil lasan.

Berdasarkan pengujian mikroskopik dan pengujian kekerasan yang dilakukan pada spesimen las menunjukkan hasil



bahwa pada daerah *weld metal* struktur mikro yang didapatkan sama, baik sebelum maupun setelah proses PWHT. Analisis struktur mikro merujuk pada diagram fasa Fe-Ni pada Gambar 2.15, dimana untuk *filler* NiFe yang memiliki kandungan nikel sebesar 45,3% termasuk dalam hipoeutektoid, jadi fasa yang didapatkan yaitu α Fe dan eutektoid seperti pada Gambar 4.11, sedangkan pada *filler* NiFe-1 dan NiFe-2 yang masing-masing memiliki komposisi nikel sebesar 56,91% dan 57,02% termasuk dalam hipereutektoid, oleh karena itu fasa yang didapatkan FeNi₃ dan eutektoid seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.17. Pada daerah *weld metal* nilai kekerasan tertinggi mencapai 281,78 HV pada *filler* NiFe, dan pada *filler* lain, nilai kekerasan masih berada dalam *range standard* kekerasan spesimen *original* yaitu 170-220 HV. Setelah dilakukan PWHT nilai kekerasan semua spesimen pada daerah *weld metal* mengalami penurunan nilai kekerasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.29, penurunan paling signifikan terjadi pada spesimen dengan *filler* NiFe, turun sebesar 18,42%, sedangkan untuk dua *filler* lainnya turun sebesar 4,8% pada spesimen dengan *filler* NiFe-1, dan turun sebesar 0,8% pada spesimen dengan *filler* NiFe-2. Namun nilai kekerasan untuk *filler* NiFe-1 dan NiFe-2 masih masuk kedalam *range standard* nilai kekerasan spesimen *original*.

Sedangkan pada daerah HAZ, struktur mikro yang didapatkan sama semua pada masing-masing *filler* sebelum proses PWHT. Selama pengelasan, karbon dapat berdifusi menjadi austenit. Ketika pendinginan terjadi, austenit bertransformasi menjadi martensit, austenit, maupun bainit (ASM vol 6, 1993). Maka dari itu pada spesimen uji terdapat berbagai macam jenis fasa di daerah HAZ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12, Gambar 4.15, dan Gambar 4.18. Daerah HAZ memiliki kekerasan paling tinggi dari daerah yang lain karena memiliki fasa bainit yang cukup banyak setelah mengalami pendinginan cepat setelah pengelasan. Berdasarkan Gambar 4.21, Gambar 4.24, dan Gambar 4.27, semua fasa bainit bertransformasi menjadi ausferit setelah proses PWHT. Hal ini dikarenakan proses PWHT yang digunakan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



menggunakan metode *stress relieve* yang mana temperatur pemanasannya dibawah A1 yang merupakan temperatur austemper. Austempering besi tuang nodular pada temperatur yang lebih tinggi menghasilkan struktur mikro ausferit yang merupakan kombinasi dari ferit karbida bebas dan austenit, sedangkan pada temperatur yang lebih rendah menghasilkan ferit bainitik khas dan austenit (Panneerselvam, 2017). Dari hasil pengujian kekerasan ditemukan bahwa kekerasan HAZ paling tinggi dari *weld metal* dan *base metal*, yaitu 360,38 HV dengan *filler* NiFe, 273,90 HV dengan *filler* NiFe-1, dan 243,46 HV dengan *filler* NiFe-2. Ketiga spesimen tersebut memiliki kekerasan diatas *range standard* spesimen orginal. Setelah dilakukan proses PWHT, nilai kekerasan semua spesimen dengan bermacam-macam *filler* menurun, penurunan paling signifikan terjadi pada spesimen dengan *filler* NiFe, turun sebesar 36%, sedangkan untuk dua *filler* lainnya turun sebesar 27,3% pada spesimen dengan *filler* NiFe-1, dan turun sebesar 18,4% pada spesimen dengan *filler* NiFe-2. Namun nilai kekerasan untuk *filler* NiFe-1 dan NiFe-2 masih masuk kedalam *range standard* nilai kekerasan spesimen original.

Pada daerah *base metal*, tidak ada perubahan fasa pada masing-masing *filler*, baik dengan proses PWHT maupun tidak. fasa yang didapatkan yaitu ferit, perlit, dan grafit nodular. Tetapi setelah PWHT, daerah perlit semakin sedikit, sehingga nilai kekerasan pada spesimen uji turun seperti yang terlihat pada Gambar 4.22, Gambar 4.25, dan Gambar 4.28, hal ini terjadi karena proses pendinginan yang lambat oleh *furnace* cenderung membentuk ferit dan perlit (Phule, 2003). Adapun hasil pengujian kekerasan setiap spesimen dengan *filler* yang berbeda pada daerah *base metal* dapat dilihat pada Gambar 4.31, nilai kekerasan sebelum dilakukan proses PWHT, masih masuk kedalam *range standard* spesimen original yaitu 170-220 HV. Setelah dilakukan proses PWHT, semua spesimen uji pada daerah *base metal* mengalami penurunan kekerasan sebesar 9-12%.

Secara umum semua spesimen pada masing-masing *filler* mengalami penurunan nilai kekerasan pada setiap daerah setelah



dilakukan proses PWHT, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pascual (2009), dimana *post-weld* dilakukan untuk mengurangi konsentrasi fasa keras dan memaksa membentuk struktur lain seperti feritik dan pearlitik yang memiliki kekerasan lebih rendah. Pernyataan lain juga diungkapkan dalam penelitian Pouranvari (2009), bahwa *holding time* dalam proses PWHT selama 1 jam memberikan kekuatan pendorong yang cukup untuk melarutkan fasa Fe_3C dan martensit yang terbentuk selama pengelasan. Selama pendinginan *furnace* lambat, grafit dan bukan Fe_3C terbentuk dalam matriks feritik. Oleh karena itu, PWHT yang diterapkan dapat mengurangi pembentukan fase rapuh pada HAZ.

Berdasarkan pola patahan pada Gambar 4.34 dan Gambar 4.35 menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik semua spesimen uji mengalami patah pada daerah *weld metal*, namun pada spesimen dengan *filler* NiFe baik dengan PWHT ataupun tidak, mengalami patah pada bagian HAZ. Hal ini terjadi karena daerah HAZ merupakan daerah yang memiliki konsentrasi tegangan paling tinggi, dan juga ini terbukti dengan hasil pengujian kekerasan yang menyebutkan bahwa daerah HAZ memiliki nilai kekerasan paling tinggi dari daerah lainnya. Sedangkan untuk spesimen yang mengalami patah pada daerah *weld metal*, ini terjadi karena nilai UTS dari hasil pengelasan lebih kecil dari nilai UTS spesimen *original*, sehingga patah terjadi pada daerah *weld metal*. Berdasarkan hasil dari pengujian tarik yang ditunjukkan pada Gambar 4.36, semua spesimen uji mengalami peningkatan nilai UTS setelah dilakukan proses PWHT. Peningkatan nilai UTS pada spesimen setelah di PWHT berkisar 12,47-25,53%. Nilai UTS tertinggi ada pada spesimen dengan *filler* NiFe dengan perlakuan PWHT sebesar 283,7 MPa. Turunnya kekerasan sebuah material, membuat material memiliki sifat yang lebih ulet lagi, sehingga terjadinya peningkatan nilai UTS setelah PWHT.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengelasan metode MIG pada material *cast iron* FCD 450 paling optimum menggunakan *filler* NiFe dengan fasa yang terbentuk pada daerah *weld metal* yaitu α Fe dan eutektoid (α +FeNi₃), pada daerah HAZ struktur mikro yang diketahui yaitu ferit, perlit, bainit, dan grafit nodular, dan pada daerah *base metal* ditemukan struktur ferit, perlit, dan grafit nodular, dengan nilai kekerasan pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* yaitu 281,78 HV, 360,38 HV, dan 180,98. Dan memiliki nilai UTS paling tinggi yaitu 245,5 MPa.
2. Penggunaan perlakuan PWHT pada hasil lasan material *cast iron* FCD 450 menunjukkan hasil yang optimum, karena didapatkan perubahan fasa pada daerah HAZ dimana bainit bertransformasi menjadi ausferit, sedangkan pada daerah *weld metal* tidak ada perubahan fasa, hanya distribusi fasa lebih teratur dan seragam, lalu pada daerah *base metal*, daerah perlit semakin sedikit. Dengan diikutinya penurunan nilai kekerasan di semua daerah menjadi 229,86 HV pada *weld metal*, 230,74 HV pada HAZ, dan 163,88 HV pada *base metal*. Turunnya nilai kekerasan membuat material menjadi semakin ulet, maka terjadi peningkatan nilai UTS menjadi 283,7 MPa pada material.

Maka pengelasan menggunakan *filler* NiFe dengan perlakuan PWHT dapat direkomendasikan sebagai metode *repairing* untuk axle hub HD785-7 dengan material *cast iron* FCD 450 karena tidak menghasilkan fasa getas martensit, memiliki kekerasan yang sesuai dengan standar ASTM A536, serta memiliki sifat yang ulet.



5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan sebagai panduan untuk penelitian selanjutnya:

1. Pemilihan *filler* dengan spesifikasi teknis yang lebih baik guna mendapatkan hasil lasan yang lebih maksimal.
2. Karena kondisi material yang tebal, dibutuhkan pengujian NDT menggunakan metode *ultrasonic testing* (UT) dan *radiography testing* (RT) untuk melihat *defect internal* yang berada di dalam material.
3. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai metode PWHT lainnya pada hasil lasan.
4. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut terkait pengujian sifat mekanik lainnya pada hasil lasan

DAFTAR PUSTAKA

- , 1993. *Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*. ASM Handbook Volume 1. ASM International.
- , 1993. *Welding, Brazing, and Soldering*. ASM Handbook Volume 6. ASM International.
- , 2004. *Metallography and Microstructures*. ASM Handbook Volume 9. ASM International.
- , 1989. *Nondestructive Evaluation and Quality Control*. ASM Handbook Volume 17. ASM International.
- , 1996. *Fatigue and Fracture*. ASM Handbook Volume 19. ASM International.
- , 1998. *Guide for Welding Iron Castings*. AWS D11.2-89. American Welding Society.
- , 2001. *Welding Science and Technology*. AWS Welding Handbook 9th Edition Volume 1. American Welding Society.
- , 2004. *Welding Science and Technology*. AWS Welding Handbook 9th Edition Volume 2. American Welding Society.
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction To Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Callister, William D., dan David G. Rethwisch. 2007. *Material Science and Engineering An Introduction*. New York. John Wiley & Sons, Inc.
- Carrasco, Francisco Javier Carcel, et al. 2016. *An Analysis of the Weldability of Ductile Cast Iron Using Inconel 625 for the Root Weld and Electrodes Coated in 97.6% Nickel for the Filler Welds*. Spain. MDPI.
- Cary, Howard B. and Scott C. Helzer. 2005. *Modern Welding Technology*. New Jersey. Pearson Education. ISBN 0-13-599290-7.

- Diniardi, Eri, dan Iswahyudi. 2012. *Analisa Pengaruh Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Besi Cor Nodular (FCD 60)*. Jakarta. UMJ.
- Funderburk, R. Scott. 1998. *Welding Inovation Volume XV, Number 2*. The James F. Lincoln Arc Welding Foundation.
- Higgins, R. A. 1993. *Engineering Metallurgy: Part 1 Applied Physical Metallurgy*.
- Johanson, Chris dan James E. Duffy. 2010. *Manual Drive Trains and Axles*. The Goodheart-Willcox Co., Inc.
- Panneerselvam, Saranya. 2017. *Influence of Intercritical Austempering on The Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Cast Iron (ADI)*. USA. Materials Science & Engineering A 72–80
- Pascual, M., C. Ferrer, dan E. Rayon. 2009. *Weldability of Spheroidal Graphite Ductile Cast Iron Using Ni / Ni-Fe Electrodes*. Spain. Revista De Metalurgia.
- Pouranvari, M. 2010. *On the Weldability of Grey Cast Iron Using Nickel Based Filler Metal*. Iran. Elsevier Ltd.
- Radzikowska, Janina M. 2004. *Metallography and Microstructure of Cast Iron*. Poland. The Foundry Research Institute
- Reichelt, W.R. 1980. *Effects of Shielding Gas on Gas Metal Arc Welding Aluminum*. Pennsylvania. Welding Research Supplement.
- Rizky, Fakhrozi Ahmad. 2016. *Analisa Pengaruh Komposisi Elektroda Terhadap Mikrostruktur dan Sifat Mekanik pada Pengelasan FCD600 dengan Metode SMAW*. Surabaya. ITS.
- Sutar, Sachin B., dan Dr. K. H. Inamdar. 2015. *Analysis of Mechanical Properties for Welded Cast Iron*. India. JETIR (ISSN-2349-5162)
- Swartzendruber, L. J. 1991. *The Fe-Ni (Iron-Nickel) System*. Toronto. National Institute of Standards and Technology.
- Voigt, R. C., dan R. Loper Jr. 1983. *A Study of Heat-Affected Zone Structures in Ductile Cast Iron*. Wisconsin. Welding Research Supplement.

- Wiryosumarto, Prof. Dr. Ir. Harsono, dan Prof. Dr. Toshie Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta. PT. Pradnya Paramita.
- Gumienny, G. 2015. *Continuous Cooling Transformation (CCT) Diagrams of Carbide Nodular Cast Iron*. Poland. Lodz University of Technology

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

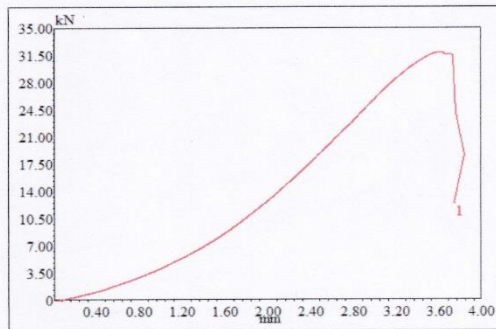
- NiFe Non-PWHT



Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 30-05-2018

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield point N	Yield Str. MPa	Max. Load N	UTS MPa	Breaking
NIC-Non	13.00	10.00	130.00	31904.2	245.4	31917.6	245.5	WM
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

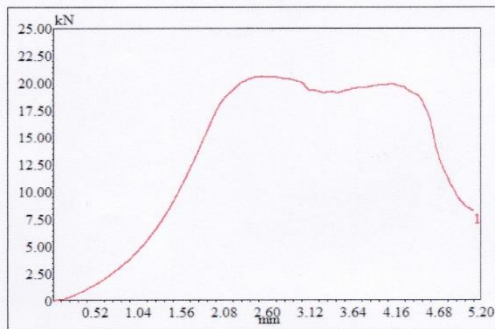
- NiFe-1 Non-PWHT



Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 30-05-2018

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield point N	Yield Str. MPa	Max. Load N	UTS MPa	Breaking
55-Non	13.00	10.00	130.00	20577.1	158.3	20626.1	158.7	WM
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

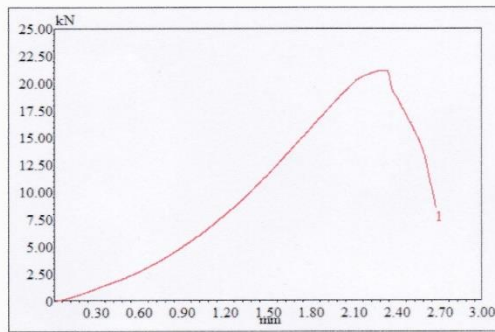
- NiFe-2 Non-PWHT



Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 30-05-2018

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point N	Yield Str. MPa	Max. Load N	UTS MPa	Breaking
155-Non	13.00	10.00	130.00	20524.6	157.9	21181.5	162.9	WM
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

- NiFe PWHT



Laboratorium Metallurgi

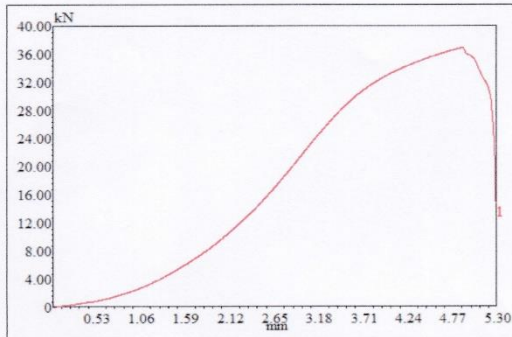
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 30-05-2018

Test Result

[illegible]

- NiFe-1 PWHT



Laboratorium Metallurgi

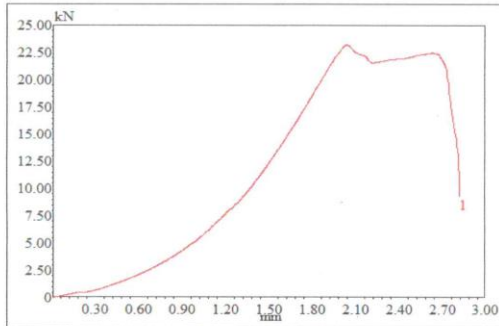
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 30-05-2018

Test Result

[illegible]

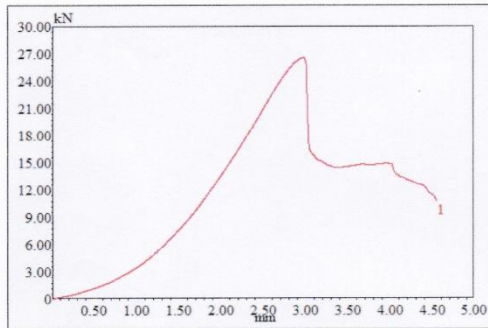
- NiFe-2 PWHT



Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 30-05-2018

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield point N	Yield Str. MPa	Max. Load N	UTS MPa	Breaking
155-PWHT	13.00	10.00	130.00	26570.0	204.4	26585.1	204.5	WM
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan adik-adik penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan laporan tugas akhir.
2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
3. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing satu Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
4. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc selaku dosen pembimbing dua Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.
6. Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
8. Bapak Muhammad Arriza Fajri, S.T., selaku pembimbing di PT. Komatsu Remanufacturing Asia yang selalu dengan sabar memberikan bimbingan kepada penulis selama mengerjakan dan menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Teguh selaku *welder* yang sudah berkenan dalam membantu penulis melakukan penelitian ini.

10. Mas Omen, Mbak Meila, dan Mas Ari yang selalu membantu dan menyemangati penulis selama melakukan penelitian di Balikpapan.
11. Elvira Sulcha Nasucha yang telah memberi bantuan, dukungan moril, semangat, motivasi dan canda tawa serta cinta kasih kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
12. Sahabat penulis, Fadel dan Boim yang selalu memberi dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
13. Teman-teman ITS SMANSASI'14 sebagai teman perantauan yang selalu memberi semangat dalam menjalani jenjang perkuliahan ini.
14. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material serta keluarga MT 16 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
15. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan temanteman sekalian.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bekasi, 6 Juli 1996, dan merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDIT Thariq Bin Ziyad, SMPN 1 Bekasi, dan SMAN 1 Bekasi. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya di perguruan tinggi melalui jalur SNMPTN di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Saat menempuh pendidikan di Teknik Material penulis memilih bidang studi Metalurgi Manufaktur sebagai topik penelitian tugas akhir.

Selama berkuliah di ITS, penulis mengikuti kegiatan seminar, pelatihan, dan organisasi. Penulis pernah mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) dan menjabat sebagai Wakil Kepala Departemen Dalam Negeri HMMT-FTI ITS. Penulis juga pernah menjadi staff di NACE SC-ITS.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Komatsu Remanufacturing Asia di Balikpapan dan ditempatkan di divisi *engineering*.

email: ferdiyanalfathan@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”